



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 110548986 A

(43)申请公布日 2019.12.10

(21)申请号 201910857882.6

(22)申请日 2019.09.09

(71)申请人 山东大学

地址 250061 山东省济南市历下区经十路
17923号

(72)发明人 石磊 武传松

(74)专利代理机构 济南圣达知识产权代理有限
公司 37221

代理人 郑平

(51)Int.Cl.

B23K 20/12(2006.01)

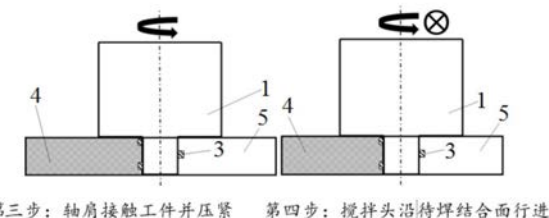
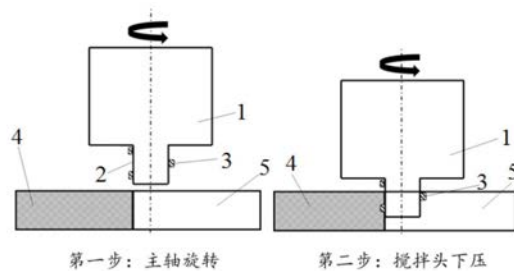
权利要求书2页 说明书7页 附图3页

(54)发明名称

一种异种材料的搅拌摩擦焊接装置及焊接方法和应用

(57)摘要

本发明涉及异种材料的搅拌摩擦焊接领域，尤其涉及一种异种材料的搅拌摩擦焊接装置及焊接方法和应用。所述装置为：在搅拌头的搅拌针侧壁上设置间断式凸出块，且间断式凸出块的硬度大于待焊接异种材料中硬度较大的材料。进行异种材料的焊接时，搅拌头轴线偏向较软的待焊材料一侧，使搅拌针主体全部插入较软的待焊材料之中，而凸出块断续地伸入到较硬的待焊材料一侧。本发明焊接装置和方法既避免了过量的较硬待焊材料进入焊合区影响材料流动性；又适当降低了热输入，避免形成连续较厚的金属间化合物层，并增强了两材料间的机械交锁连接，提高了异种材料搅拌摩擦焊接接头的力学性能。



1. 异种材料的搅拌摩擦焊接装置,包括相互连接的搅拌头和搅拌针,其特征在于,在所述搅拌针侧壁上设置间断式分布的凸出块。

2. 如权利要求1所述的异种材料的搅拌摩擦焊接装置,其特征在于:所述凸出块的硬度大于待焊接异种材料中硬度较大的材料;

优选地,所述搅拌针的截面尺寸小于搅拌头的截面尺寸,搅拌针连接在搅拌头的一个端面上,搅拌头和搅拌针的轴线重合;

优选地,所述搅拌针的截面形状包括圆形、三角形或者矩形中的任意一种。

3. 如权利要求1或2所述的异种材料的搅拌摩擦焊接装置,其特征在于,所述凸出块固定设置在搅拌针侧壁上;

优选地,所述凸出块和搅拌针焊接在一起;

优选地,所述凸出块与搅拌针一体化制造。

4. 如权利要求1或2所述的异种材料的搅拌摩擦焊接装置,其特征在于,所述凸出块可拆卸设置在搅拌针侧壁上;

优选地,所述凸出块与搅拌针上的螺孔螺接在一起;

优选地,所述凸出块直接紧密插接在搅拌针上。

5. 如权利要求4所述的异种材料的搅拌摩擦焊接装置,其特征在于,所述凸出块经过表面局部热处理提高了凸出块的耐磨性;优选地,所述凸出块表面设置有耐磨性涂层。

6. 如权利要求4所述的异种材料的搅拌摩擦焊接装置,其特征在于,所述凸出块的材质包括工具钢、硬质合金钢、钛合金、钨基合金、特种耐磨钢、耐磨复合材料中的任意一种或多种。

7. 如权利要求1或2所述的异种材料的搅拌摩擦焊接装置,其特征在于,所述凸出块的长度为搅拌针长度的10-50%,宽度为搅拌针周长的5-60%,高度为搅拌针最小直径的5-30%,所述长度指沿搅拌针轴线方向上的长度,所述宽度指沿搅拌针周向上的长度,所述高度为凸出块远离搅拌针的一端距离搅拌针表面的直线距离;

优选地,所述凸出块的形状包括长方体、圆锥体、圆柱形、半球形中的任意一种;更优选为半球形或圆柱形;

优选地,所述凸出块的截面形状包括圆形、三角形、四边形中的任意一种。

8. 异种材料搅拌摩擦焊接方法,其特征在于,利用权利要求1-7任一项所述的搅拌摩擦焊接装置执行;

焊接时,搅拌头轴线偏向较软的待焊材料一侧,使搅拌针主体全部插入较软的待焊材料之中,而凸出块至少能够部分地进入较硬的待焊材料中,使凸出块能够循环地进入、离开较硬的待焊材料,从而在焊接过程中搅拌混合形成接头。

9. 如权利要求8所述的异种材料搅拌摩擦焊接方法,其特征在于,包括如下步骤:

(1) 焊前对待焊工件进行清理,去除表面氧化膜;

(2) 将硬待焊工件和软待焊工置于焊接工作台上对接好待焊接面,然后采用夹具夹紧两组待焊工件;

(3) 将搅拌头与搅拌摩擦焊机主轴相连接,调整焊机X轴、Y轴和Z轴坐标,使得搅拌头的中心轴线与待焊部位对齐;

(4) 再调整焊机的X轴、Y轴和Z轴坐标,使得搅拌头主轴向于软待焊工,使搅拌时凸出块

的至少一部分能够进入硬待焊工件中,优选地偏移距离为搅拌针半径;

(5) 设置焊接参数,启动搅拌摩擦焊机;

(6) 随着搅拌头下压至设定值后,搅拌头沿待焊接面运动,直至焊接完成,搅拌头抽出工件,焊接过程完成。

10. 权利要求1-7任一项所述的异种材料的搅拌摩擦焊接装置和/或权利要求8或9所述的异种材料搅拌摩擦焊接方法在汽车、高速列车、航空航天领域中的应用;优选为在上述领域中异种材料的连接中的应用;例如,铝/镁、铝/铜、铝/复合材料、铝/钢的焊接。

一种异种材料的搅拌摩擦焊接装置及焊接方法和应用

技术领域

[0001] 本发明涉及异种材料的搅拌摩擦焊接领域,尤其涉及一种异种材料的搅拌摩擦焊接装置及焊接方法和应用。

背景技术

[0002] 本发明背景技术中公开的信息仅仅旨在增加对本发明的总体背景的理解,而不必然被视为承认或以任何形式暗示该信息构成已经成为本领域一般技术人员所公知的现有技术。

[0003] 随着国家经济和社会可持续发展对节能、减排、环保及产品性能的要求不断提高,根据装备和产品结构使用要求的差异,多材料混用,充分利用不同材料的特性,在满足使用要求的前提下减重并提高服役性能,是结构轻量化的重要发展方向。因此,异种材料的焊接与连接结构在汽车、高速列车、航空航天等产业领域得到越来越多的应用。

[0004] 由于异种材料之间的性能差异较大,采用传统熔焊方法易产生气孔、夹杂、热裂纹等各种焊接缺陷。为此,钎焊、扩散焊、超声波和搅拌摩擦焊等固相连接方法成为异种材料连接的优选焊接方法,但钎焊、扩散焊和超声波焊接的效率较低,对工件的尺寸形状要求较严格,难以契合规模化工业生产的需要,限制了异种材料复合结构在工程领域的广泛应用。

[0005] 搅拌摩擦焊是一种新型固相连接技术,具有接头质量高、焊接变形小、焊接过程绿色环保等优点,在铝合金、镁合金、复合材料、铜合金等材料的连接领域得到广泛应用。搅拌摩擦焊主要依靠搅拌头与工件之间的摩擦热和材料的塑性变形热来软化待焊区材料,使其流动并最终形成焊接接头。在搅拌摩擦焊接过程中,材料不熔化,从而避免形成气孔、夹杂等缺陷,已成功实现了铝/镁、铝/铜、铝/复合材料、铝/钢等异种材料的连接。然而,由于两种连接金属的硬度、流动性能、热物理性能等存在较大差异,采用常规的搅拌摩擦焊接方法进行铝/镁、铝/铜、铝/复合材料、铝/钢等异种材料的搅拌摩擦焊接时,容易出现隧道型缺陷,无法得到高质量的异种材料搅拌摩擦焊接接头。

[0006] 为此,研究者提出在进行异种材料搅拌摩擦焊接时将搅拌头偏向某一金属(Yan et al. Microstructure characteristics and performance of dissimilar welds between magnesium alloy and aluminum formed by friction stirring, Scripta Materialia, 2005, 53 (5) :585-589), 这样一方面可以适当改善焊接热输入及热力分布情况,另一方面可以避免异种材料过度混合并发生冶金反应,形成连续较厚的脆硬金属间化合物层,影响焊合区材料的塑性流动性,从而形成孔洞和隧道型焊接缺陷。另外,专利文献CN101758329A公开了一种改善铝/铜异质金属连接强度的搅拌摩擦焊接方法,通过在搅拌头偏置的条件下对铝/铜异种金属板进行搅拌摩擦焊接,可以改善材料的流动性,提高铝/铜异种材料搅拌摩擦焊接接头强度。然而,本发明人研究发现:这种通过搅拌头偏置进行焊接,如果采用不带螺纹的搅拌针时,两种材料之间难以形成交锁混合结构,影响接头性能。而采用带螺纹的搅拌针,一方面软化的材料容易黏着于螺纹沟槽之中,从而影响塑性材料流动和焊接热力过程的稳定性,甚至会产生焊接缺陷,严重影响接头质量;另一方面由于螺

纹材料与搅拌针材料性能相同,在焊接过程中搅拌针的螺纹非常容易磨损而失去应有的效果,影响搅拌头的使用寿命和接头性能的稳定性。

[0007] 此外,由于异种金属焊接时两种材料的硬度不同,使用的搅拌头材料不同,如果依据硬度或强度较大的母材(如铝/铜异质金属搅拌摩擦焊接时的铜合金,或者铝/钢异质金属搅拌摩擦焊接时的钢材)来选择搅拌头材料,势必会造成焊接成本增加。而如果依据硬度或强度较小的母材(如铝/铜或者铝/钢焊接中的铝合金)来选择搅拌头材料,则焊接过程中搅拌头磨损较严重,甚至会发生折断破坏,严重降低搅拌头的使用寿命,使得焊接成本增加。针对这一问题,专利文献US2012273113A1公开了一种改善异质材料搅拌摩擦搭接的方法,通过在搅拌针端部设置一耐磨凸出块,使其能够与待焊的较硬的底部工件接触,进而改善搭接接头组织和金属间化合物形态,并最终提高接头性能。然而,本发明人研究发现:该方法只适用于薄板的搅拌摩擦搭接焊,对于中厚板材,由于板厚较大和搅拌摩擦焊接产热自身的特性,搅拌针产热量有限,底部板材的软化不足,难以形成有效连接。

[0008] 专利文献CN104625394A公开了一种用于金属复合板焊接的单轴肩搅拌头,包括夹持端、轴肩、搅拌针以及搅拌针上的周向环形凸起;焊接过程中,将环形凸起的最大直径处至于金属复合板的结合界面处进行搅拌摩擦焊,能够很好的控制该结合面处的热输入量以及金属流动,解决了复合板焊接时结合面处金属间化合物过渡层的控制问题。然而,本发明人研究发现:该方法的搅拌针采用的环形凸起旨在防止金属复合板上层材料向下层材料混合,而并不能解决本发明欲解决的问题。

发明内容

[0009] 本发明寻求解决的技术问题/实现的目的至少包括以下方面:(1)强化异质材料搅拌摩擦焊接接头中两种材料之间的交锁混合程度,促进形成更多的交锁连接结构,提高异质材料搅拌摩擦焊接接头性能。(2)调控热输入防止形成连续较厚的金属间化合物层,以提高焊接接头的力学性能。(3)提高搅拌头的使用寿命、降低焊接成本。

[0010] 为实现上述目的,本发明提出强化异种材料交锁连接的搅拌摩擦焊接方法以及实现该方法的搅拌摩擦焊接装置。

[0011] 进一步地,本发明设计的搅拌摩擦焊接装置为:在搅拌头的搅拌针侧壁上设置间断式分布的凸出块,且凸出块的硬度大于待焊接异种材料中硬度较大的材料。

[0012] 进一步地,采用上述搅拌摩擦焊接装置进行异种材料的焊接时,搅拌头的轴线偏向较软的待焊材料一侧,使搅拌针主体全部插入较软的待焊材料之中,而凸出块至少能够部分地进入较硬的待焊材料中,使凸出块能够循环地进入、离开较硬的待焊材料。焊接过程中,通过搅拌头与被焊材料之间的相互作用,软化待焊材料,并搅拌混合形成接头。

[0013] 与现有技术相比,本发明取得了以下有益效果:

[0014] (1) 本发明采用带有间断式凸出块的搅拌针进行异种材料的搅拌摩擦焊接,通过在焊接时将搅拌针主体置于较软的待焊材料一侧,避免过量的较硬的待焊材料进入焊合区,改善了焊合区塑性材料的流动性;同时能够适当降低焊接热输入,避免两种材料之间发生激烈冶金反应而形成连续较厚的金属间化合物层。通过改善焊合区塑性材料流动,优化焊接热输入和金属间化合物层厚度,达到提高异质材料搅拌摩擦焊接接头性能的目的。

[0015] (2) 本发明采用带有间断式凸出块的搅拌针进行异种材料的搅拌摩擦焊接,通过

凸出块断续地进入-离开较硬的材料,将较硬的材料间断地搅入较软的材料,有利于形成更多的两种材料间的交锁混合结构,促进异质材料搅拌摩擦焊接接头形成更多微观机械连接,从而提高异种材料搅拌摩擦焊接接头性能。同时,由于可以通过表面局部热处理或选用不同材料制作高强高硬度的耐磨凸出块,从而大大提高搅拌头的使用寿命并降低焊接成本。

[0016] (3) 本发明提出的焊接方法以及实现该方法装置结构无需对现有搅拌摩擦焊接设备进行大量的改造,易于快速产业化应用。

附图说明

[0017] 构成本发明的一部分的说明书附图用来提供对本发明的进一步理解,本发明的示意性实施例及其说明用于解释本发明,并不构成对本发明的不当限定。

[0018] 图1为本发明实施例中搅拌摩擦焊接装置的三维结构示意图。

[0019] 图2为本发明实施例中搅拌摩擦焊接装置的主视图。

[0020] 图3为本发明实施例中搅拌摩擦焊接装置的俯视图。

[0021] 图4为本发明实施例中进行异种材料搅拌摩擦焊接的流程示意图。

[0022] 上述附图中标记分别代表:1-搅拌头;2-搅拌针;3-凸出块;4-硬待焊工件;5-软待焊工件。

具体实施方式

[0023] 应该指出,除非另有指明,本发明中使用的所有技术和科学术语具有与本发明所属技术领域的普通技术人员通常理解的含义。

[0024] 需要注意的是,本发明中所使用的术语仅是为了描述具体实施方式,而非意图限制根据本发明的示例性实施方式。如在这里所使用的,除非上下文另外明确指出,否则单数形式也意图包括复数形式,此外,还应当理解的是,当在本说明书中使用术语“包含”和/或“包括”时,其指明存在特征、步骤、操作、器件、组件和/或它们的组合。

[0025] 为了方便叙述,本发明中如果出现“上”、“下”、“左”“右”字样,仅表示与附图本身的上、下、左、右方向一致,并不对结构起限定作用,仅仅是为了便于描述本发明和简化描述,而不是指示或暗示所指的设备或元件需要具有特定的方位,以特定的方位构造和操作,因此不能理解为对本发明的限制。

[0026] 术语解释部分:本发明中的术语“安装”、“相连”、“连接”、“固定”等术语应做广义理解,例如,可以是固定连接,也可以是可拆卸连接,或为一体;可以是机械连接,也可以是电连接,可以是直接连接,也可以是通过中间媒介间接相连,可以是两个元件内部连接,或者两个元件的相互作用关系,对于本领域的普通技术人员而言,可以根据具体情况理解上述术语在本发明的具体含义。

[0027] 正如前文所述,目前异种材料搅拌摩擦焊接仍存在两种材料之间交锁连接不足、易形成连续较厚的脆硬的金属间化合物层,从而影响焊合区塑性材料流动,甚至产生孔洞缺陷,严重限制了接头力学性能的提高。为此,本发明基于在搅拌头的搅拌针上设置间断式凸出块,提出了一种强化异种材料交锁连接的搅拌摩擦焊接方法。

[0028] 现结合说明书附图和具体实施方式对本发明进一步说明。

[0029] 参考图1-3, 示例本发明设计的一种用于异种材料焊接的搅拌摩擦焊接装置, 包括: 搅拌头1、搅拌针2和凸出块3; 其中, 所述搅拌头1和搅拌针2均为圆柱结构, 且搅拌针2的直径小于搅拌头1的直径, 搅拌针2连接在搅拌头1的一个端面上, 且搅拌头1和搅拌针2的轴线重合; 所述凸出块3间断地设置在搅拌针2的侧壁上。

[0030] 可以看出, 区别于现有技术的是, 所述搅拌针2上的凸出块3的布置方式为间断性设置, 用于搅拌摩擦焊接时, 能够实现凸出块断续地进入-离开较硬的材料, 将较硬的材料间断地搅入较软的材料, 有利于形成更多的两种材料间的交锁混合结构, 促进异质材料搅拌摩擦焊接接头形成更多微观机械连接, 从而提高异种材料搅拌摩擦焊接接头性能。

[0031] 上述设计的搅拌摩擦焊接装置有效解决了异种材料搅拌摩擦焊接所存在的容易产生连续较厚的脆硬的金属间化合物层、两种材料之间的交锁混合连接程度不足、搅拌头易磨损等问题。

[0032] 进一步地, 基于上述的凸出块3设置特点, 可以理解的是, 这与专利文献(公开号CN104625394A)“在搅拌针的周向设置环形凸起”完全不同, 这种环形凸起具有在搅拌针周向上连续性, 尽管这样的设置在焊接时能够防止金属复合板上层材料向下层材料混合, 但是并不能改善异种金属材料搅拌摩擦对接焊时两种材料间的交锁连接程度, 因为连续的环形凸起无法在旋转时起到周期性地、有规律地切削焊接较硬焊接材料的作用, 也就无法将部分较硬焊接材料带离母材后与较软焊接材料混合、交锁。

[0033] 进一步地, 在一些实现中, 所述搅拌针2的截面形状为三角形或者矩形, 例如, 截面形状为三角形时, 搅拌针2为三角柱或三角锥; 截面形状为矩形时, 搅拌针2为立方柱或立方锥。应当理解的是, 搅拌针2的主要作用是对软化的塑性材料进行搅拌混合, 因此, 搅拌针2的截面形状可以根据实际情况具体选择。

[0034] 进一步地, 在一些实现中, 所述凸出块3的形状可以为长方体、圆锥体、圆柱形、半球形或其他任意适合的形状。凸出块的材料性质、尺寸和分布形式等, 均可以根据所焊接的材料和板厚进行调整, 但要保证其为间断不连续的排列形式。

[0035] 另外, 在一些实现中, 所述凸出块3的截面形状可以是圆形、三角形、四边形等, 或者其他任意适合的形状。

[0036] 在另一些实现中, 所述凸出块3固定设置在搅拌针2侧壁上; 如两者焊接在一起, 或者凸出块3与搅拌针2一体化设计制造。固定设置的凸出块3和搅拌针2之间连接性更优, 可使焊接过程具有更好的稳定性, 避免因凸出块3和搅拌针2之间的意外或者不可避免的松动而使前后期焊接质量出现较大波动, 造成焊接质量不稳定。

[0037] 在另一些实现中, 所述凸出块3可拆卸设置在搅拌针2侧壁上; 如凸出块3与搅拌针2上的螺孔螺接在一起; 或者, 凸出块3直接紧密插接在搅拌针2上。相对于固定设置, 凸出块3的可拆卸设置更容易实现对损耗、损坏部件的更换与后期维护。例如, 容易理解的是, 当部分凸出块3因为长期的摩擦而出现磨损, 甚至折断时, 只需更换这部分凸出块3, 或者仅仅是搅拌针2磨损/折断时, 也可以只更换搅拌针2, 从而降低了焊接成本。

[0038] 另外, 基于对本发明背景技术的理解, 凸出块3的可拆卸设置有助于克服搅拌头材料依据硬度/强度较小或者较大的母材选择时带来的问题。

[0039] 进一步地, 在一些实现中, 基于凸出块3的可拆卸设置方式, 则能够对凸出块3提前进行性能优化处理; 例如, 选择凸出块3的材料与搅拌针2的材料相同, 然后经过表面局部热

处理提高凸出块3的耐磨性。

[0040] 需要说明的是,基于通常理解的表面局部热处理这类工艺,这里的耐磨性的提高是相对于未进行表面局部热处理之前的凸出块的耐磨性;例如,所述表面局部热处理通过执行渗氮、渗碳、碳氮共渗等工艺实现,活性氮和/或碳原子扩散渗入凸出块3表层内,从而改变表层的化学成分和组织,获得优良的耐磨性、硬度等表面性能。

[0041] 另外,所述提高凸出块3耐磨性的方法还可以采用热喷涂等方法,其通过在凸出块3表面熔覆一层具有更高耐磨性的涂层,可以有效提高凸出块3的使用寿命。

[0042] 可以理解的是,无论采用表面局部热处理还是熔覆耐磨性的涂层的方式处理凸出块3,均可以达到避免凸出块3整体采用高耐磨性材料制备而导致的成本高的问题。

[0043] 需要说明的是,在合金材料中,高耐磨性往往建立在大量的或者一些特殊合金成分的添加上,凸出块3整体采用这类材料会不可避免地提高焊接成本;而且一旦凸出块3损耗/损坏,其难以通过简单的加工处理实现回收利用,因此,基于凸出块3的可拆卸设置方式配合额外手段对凸出块3耐磨性的改善,能够有效在焊接成本和凸出块性能之间实现平衡。

[0044] 另外,在一些实现中,所述凸出块3的材料与搅拌针2的材料也可以不同,只要满足焊接时所需要的硬度、强度和耐磨性要求即可。

[0045] 进一步地,在一些实现中,所述凸出块3的材质包括工具钢、硬质合金钢、钛合金、钨基合金、特种耐磨钢、耐磨复合材料等硬质耐磨材料中的任意一种或多种,以使凸出块具有足够的强度、硬度和耐磨性。另外,采用上述材料制备凸出块3,可使凸出块具备良好的高温强度和疲劳强度。

[0046] 应当理解的是,本发明的凸出块3由于和焊接工件高速摩擦,会导致凸出块的温度急剧上升,其带来的问题是凸出块容易被软化,强度、硬度降低,无法满足焊接要求,例如,无法对焊接工件中较硬的待焊材料切削使其脱离母材,进而无法实现软、硬材料的混合、交锁。因此,需要所述凸出块具备良好的高温强度,即红硬性,以便于凸出块在高温下依然保持良好的强度和硬度。

[0047] 另外,应当理解的是,所述凸出块3的材质为工具钢、硬质合金钢、钛合金、钨基合金、特种耐磨钢、耐磨复合材料等硬质耐磨材料中的多种的情况为:搅拌针2上的凸出块3数量不少于两个时,不同的凸出块也可以采用不同的材质制备。

[0048] 另外,在一些实现中,所述凸出块的形状为半球形或圆柱形。这两类形状的能够更优地将较硬的待焊材料搅入搅拌区,从而形成更多的交锁混合连接结构,提高异种材料接头的力学性能。

[0049] 此外,尽管凸出块的材料性质、尺寸和分布形式等,均可以根据所焊接的材料和板厚进行调整,只要保证其为间断不连续的排列形式即可。

[0050] 但在一些实现中,对于所述凸出块3,当其尺寸过大时,搅入的硬质材料过多,容易影响焊合区材料流动性,不利于改善异种材料搅拌摩擦焊接接头的性能;而当其尺寸过小时,凸出块容易发生折断而丧失强化两种材料交锁混合的作用,同时也会降低搅拌头使用寿命、增加焊接成本。故推荐其长度(沿搅拌针轴线方向上的长度,当凸出块为圆柱形时,可以理解为圆柱直径)为搅拌针长度的10-50%,宽度(沿搅拌针周向上的长度)为搅拌针周长的5-60%,高度(沿搅拌针径向上的长度,可以理解为凸出块远离搅拌针的一端距离搅拌针表面的直线距离)为搅拌针最小直径的5-30%。

[0051] 因此,可以理解的是,鉴于不同的焊接情况对凸出块3的尺寸要求不一,凸出块3在搅拌针上的可拆卸设置是优选的方案,以便于根据不同需求更换不同长度的凸出块3,从而实现本发明焊接装置的多功能化,降低焊接成本,提高焊接的便捷性。

[0052] 进一步地,基于图1-3所示意的搅拌摩擦焊接装置以及上述说明,现示例一种采用上述搅拌摩擦焊接装置进行异种材料焊接方法,具体如下:

[0053] 参考图4,待焊的两工件为异种材料,其包括硬度较高的硬待焊工件4、硬度较低的软待焊工5,焊接之前,将硬待焊工件4和软待焊工5的待焊接面对接好。

[0054] 应当理解的是,本发明所述硬度的高低限于待焊的两种异种材料之间的比较,是一个相对高低的概念,旨在便于对本发明搅拌摩擦焊接装置使用方法的描述,而不指代特定材料和/或特定数值或范围内的硬度。

[0055] 进一步参考图4,焊接时,将搅拌针2插入软待焊工5之中,所述凸出块3至少有一部分能够伸入硬待焊工件4;随着搅拌头1和搅拌针2的旋转,一方面,由于搅拌针2不插入较硬的被焊材料一侧,避免了较多的硬质材料进入焊合区,有利于提高焊合区塑性材料流动性,同时适当降低了焊接产热,避免生成过量的金属间化合物,影响接头性能。另一方面,由于搅拌针2上设置的间断式凸出块3,焊接时,凸出块3能够周期性地、有规律地将软化的硬待焊材料搅入软待焊材料之中,从而促进两种材料之间形成交锁连接结构,有利于提高异种材料搅拌摩擦焊接接头的力学性能。

[0056] 应当理解的是,上述的两种材料之间的交锁过程发生在焊合区,焊接结束后焊合区形成了连接两种不同硬度材料的过渡区,其决定了焊接性能的优劣,例如,往往由于焊合区性能较母材更差,导致工件容易在焊合区发生断裂使工件损坏,甚至报废。而通过上述技术方案促进两种材料之间更好地形成交锁连接结构,则能够在进一步提升焊接接头的力学性能。

[0057] 进一步地,所述硬待焊工件4为T2铜合金,所述软待焊工5为1050铝合金,采用图1-3所示意的搅拌摩擦焊接装置对上述6mm厚度的T2铜合金和1050铝合金进行焊接。在本实施例中,使用的搅拌头1的轴肩直径为20mm,搅拌针2为圆柱形,直径为6mm,高为5.8mm,搅拌针2侧面同一圆周上均匀设置三个凸出块,且凸出块之间夹角为 120° (参考图3),凸出块3均为长方形,长为1.5mm,宽为2.0mm,高为2.0mm,底部的凸出块底面距离搅拌针底面为0.6mm,中部凸出块底面距离搅拌针底面为2.1mm,顶部凸出块距离搅拌针底部距离为3.6mm。参考图4,具体焊接操作包括如下步骤:

[0058] (1) 焊前对待焊工件进行清理,去除表面氧化膜。

[0059] (2) 将硬待焊工件4(T2铜合金)和软待焊工5(1050铝合金)置于焊接工作台上对接好待焊接面,然后采用夹具夹紧两组待焊工件。

[0060] (3) 将搅拌头1与搅拌摩擦焊机主轴相连接,调整焊机X轴、Y轴和Z轴坐标,使得搅拌头1的中心轴线与待焊部位对齐。

[0061] (4) 再调整焊机的X轴、Y轴和Z轴坐标,使得搅拌头主轴偏向于软待焊工5,搅拌针轴线偏移焊缝中心线的距离为搅拌针(不含凸出块3)半径(即3.0mm),即搅拌时凸出块3恰好能够全部进入硬待焊工件4中。

[0062] (5) 设置焊接参数(主轴转速、焊接速度、搅拌头倾角等,在本实施例中优选的搅拌头转速为600RPM,焊速为2mm/s,搅拌头倾角为 2.5°),启动搅拌摩擦焊机。

[0063] (6) 随着搅拌头1下压至设定值(在本实施例中,设置为搅拌针压入工件5.9mm)后,搅拌头1沿待焊接面运动,直至焊接完成,搅拌头1抽出工件,焊接过程完成,关闭搅拌摩擦焊机电源。

[0064] 进一步地,在另外一些实现中,所述较硬的待焊工件4为3mm厚的316L不锈钢,所述较软的待焊工件5为3mm厚度的6061-T6铝合金。在本实施例中,使用的搅拌头1的轴肩直径为15mm,搅拌针2为圆柱形,直径为4mm,高为2.8mm,搅拌针侧面对称设置两个凸出块3,凸出块均为长方形,长为1.0mm,宽为2.0mm,高为1.0mm,底部的凸出块距离搅拌针底面为0.5mm,顶部的凸出块距离搅拌针底部的距离为1.5mm。参考图4,具体的焊接方法包括如下步骤:

[0065] (1) 焊前对待焊工件进行清理,去除表面氧化膜

[0066] (2) 将硬待焊工件4(316L不锈钢)和软待焊工件5(6061-T6铝合金)置于焊接工作台上对接好待焊接面,然后采用夹具夹紧两组待焊工件。

[0067] (3) 将搅拌头1与搅拌摩擦焊机主轴相连接,调整焊机X轴、Y轴和Z轴坐标,使得搅拌头1的中心轴线与待焊部位对齐。

[0068] (4) 再调整焊机的X轴、Y轴和Z轴坐标,使得搅拌头主轴偏向于软待焊工5,偏移距离为搅拌针(不含凸出块3)半径(即搅拌头轴线偏向铝侧2.0mm),即搅拌时凸出块3恰好能够全部进入硬待焊工件4中。

[0069] (5) 设置焊接参数(主轴转速、焊接速度、搅拌头倾角等,在本实施例中选用的搅拌头转速为800RPM,焊速为1mm/s,搅拌头倾角为 2.5°),启动搅拌摩擦焊机。

[0070] (6) 随着搅拌头1下压至设定值(在本实施例中,设置为搅拌针压入工件2.9mm)后,搅拌头1沿待焊接面运动,直至焊接完成,搅拌头1抽出工件,焊接过程完成,关闭搅拌摩擦焊机电源。

[0071] 另外,在一些实现中,本发明设计的搅拌摩擦焊接装置还被用于汽车、高速列车、航空航天等领域中异种材料的焊接与连接,例如,铝/镁、铝/铜、铝/复合材料、铝/钢等异种材料的焊接等。

[0072] 可以理解的是,基于上述的说明,本发明设计的搅拌摩擦焊接装置及焊接方法在用于铝/镁、铝/铜、铝/复合材料、铝/钛等异种材料的焊接时,同样能够强化异质材料搅拌摩擦焊接接头中两种材料之间的交锁混合程度,促进形成更多的交锁连接结构,同时调控热输入防止形成连续较厚的金属间化合物层,进而提高接头的性能。基于此,可以预测的是,本发明的搅拌摩擦焊接装置及焊接方法也能够用于其他异种材料之间的焊接。

[0073] 应该说明的是,以上所述仅为本发明的优选实施例而已,并不用于限制本发明,尽管参照前述实施例对本发明进行了详细的说明,对于本领域的技术人员来说,其依然可以对前述实施例所记载的技术方案进行修改,或者对其中部分进行等同替换。

[0074] 凡在本发明的精神和原则之内,所作的任何修改、等同替换、改进等,均应包含在本发明的保护范围之内。上述虽然结合附图对本发明的具体实施方式进行了描述,但并非对本发明保护范围的限制,所属领域技术人员应该明白,在本发明的技术方案的基础上,本领域技术人员不需要付出创造性劳动即可做出的各种修改或变形仍在本发明的保护范围以内。

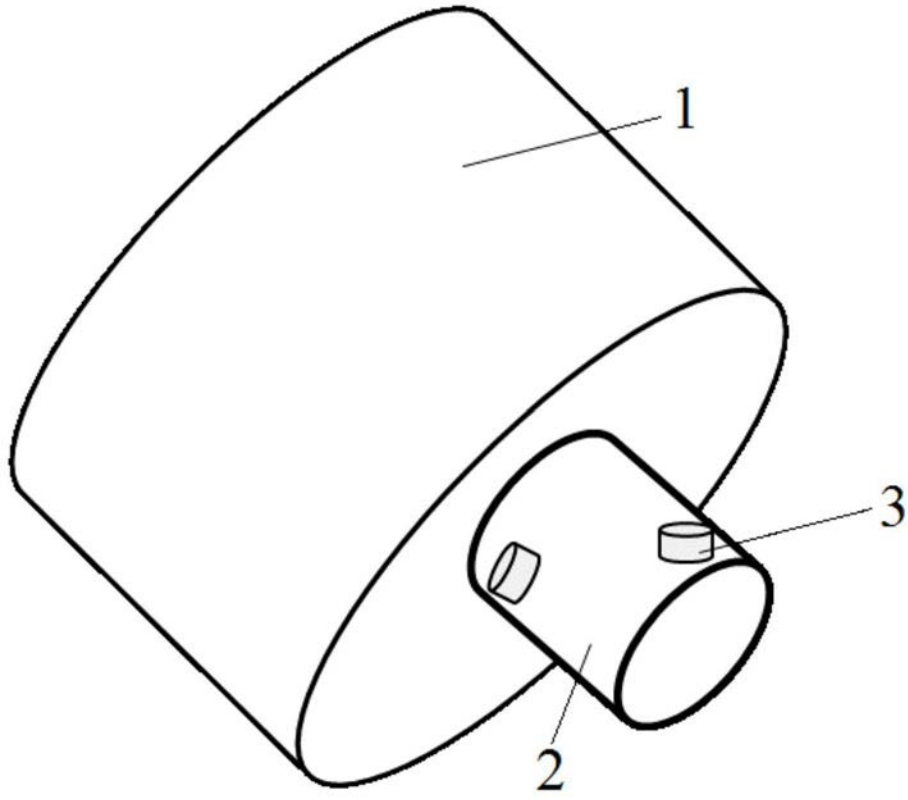


图1

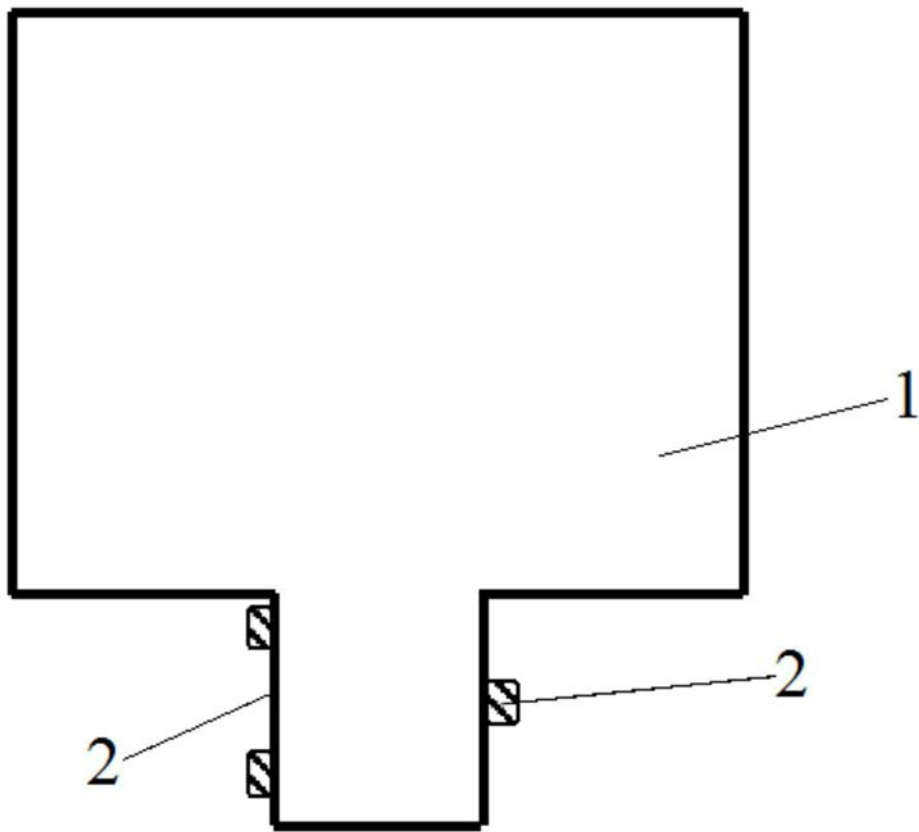


图2

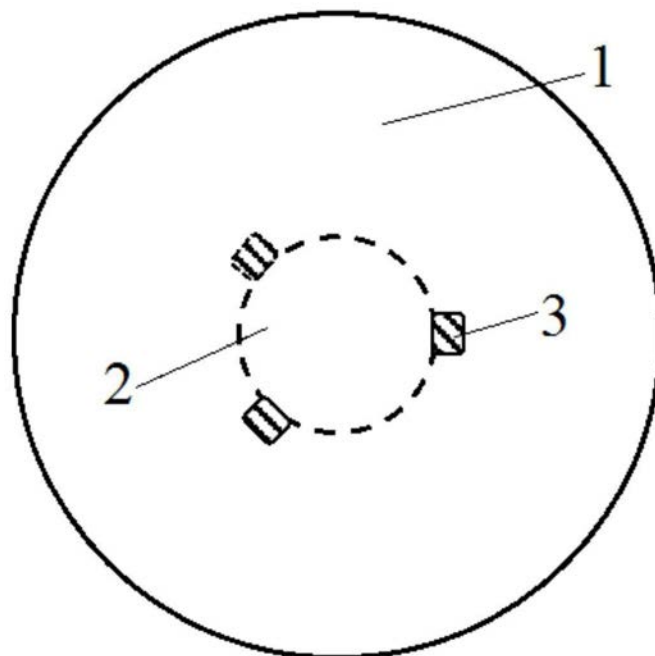


图3

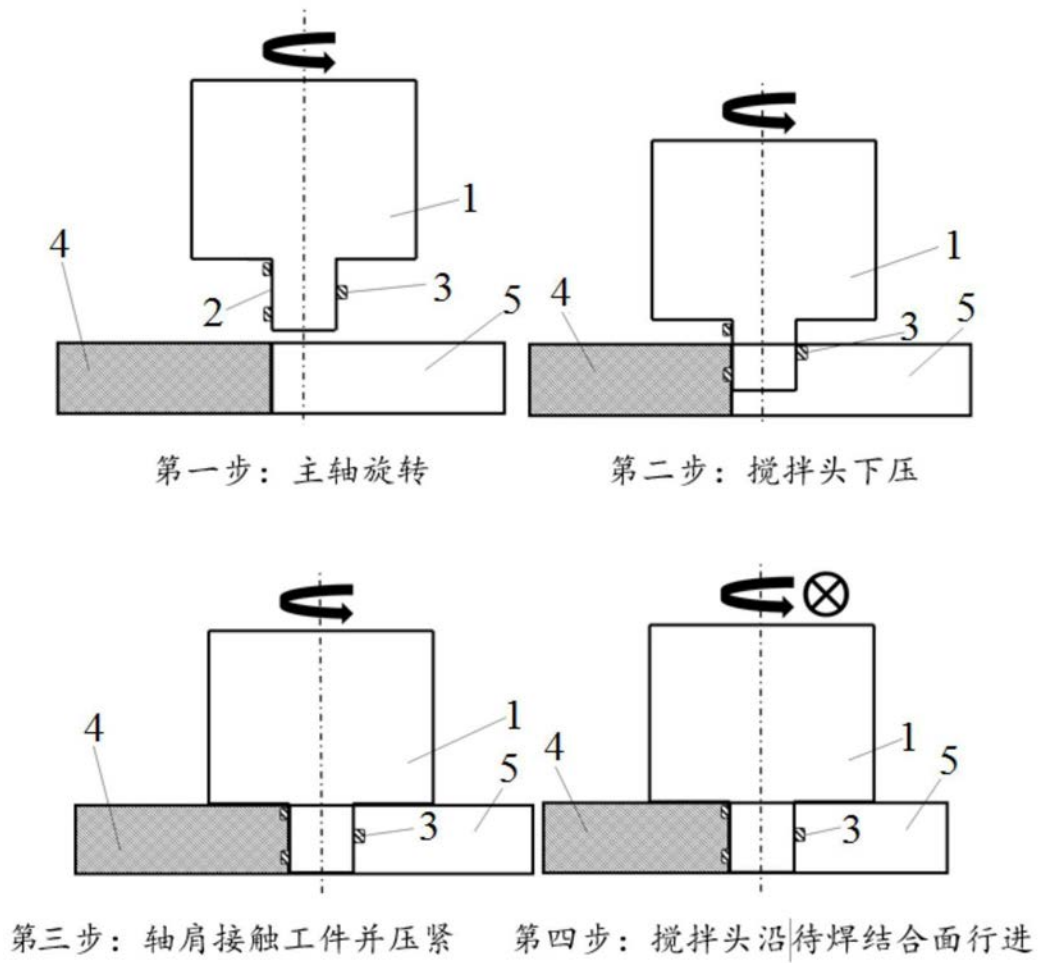


图4