

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl⁷

B23K 20/12

B29C 65/06



[12] 发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 200410009120.4

[43] 公开日 2005年11月30日

[11] 公开号 CN 1701892A

[22] 申请日 2004.5.24

[21] 申请号 200410009120.4

[71] 申请人 北京航空航天大学

地址 100083 北京市海淀区学院路37号

[72] 发明人 张涛 段辉平 席文君

[74] 专利代理机构 北京科迪生专利代理有限责任公司

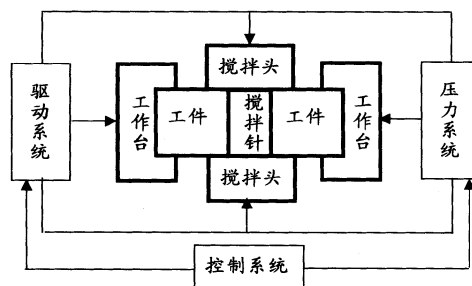
代理人 刘秀娟 成金玉

权利要求书1页 说明书5页 附图3页

[54] 发明名称 对向搅拌摩擦焊接、材料改性及制备方法

[57] 摘要

对向搅拌摩擦焊接、材料改性及制备方法，利用两个同轴的对向搅拌头和一根搅拌针作为工作部件，搅拌针固定在两个搅拌头上，双向对称搅拌轴肩以及贯通的搅拌针设计可使搅拌区中温度分布更加均匀，而且可提高工作过程中搅拌针的刚度。搅拌区的深度取决于搅拌针的长度。本发明不仅适用于通常厚度材料，而且适用于超厚板材的固态焊接、改性以及用来制备复合材料和材料机械合金化，适用于金属材料、复合材料、塑料的固态焊接以及其它固体材料的搅拌摩擦改性、复合材料的制备、固态搅拌机械合金化。



1、对向搅拌摩擦焊接、材料改性及制备方法，其特征在于：采用两个同轴的对称搅拌头和一根贯通的搅拌针作为工作部件，搅拌针固定在两个搅拌头的轴向，具体包括下列步骤：

5 (1) 把待焊件或原材料用刚性夹具固定在工作台上；

 (2) 把搅拌针装在上搅拌头中，随后高速旋转搅拌头并沿待焊件或原材料插入直至贯通，且上搅拌轴肩紧紧地与待焊件或原材料的上表面接触；

 (3) 把贯通的搅拌针的另一端固定在下搅拌头中，且使下搅拌轴肩紧紧地与待焊件或原材料的下表面接触；

10 (4) 使搅拌头高速旋转，同时利用搅拌轴肩对待焊件或原材料施加一定的搅拌压力。当待焊件或原材料的搅拌区达到一定的温度后，使待焊件的待焊面或原材料相对于搅拌头向前挤压，从而形成接头、或使原材料改性、或制备复合材料、或使原材料之间实行合金化制备高性能合金。

 2、根据权利要求 1 所述的对向搅拌摩擦焊接、材料改性及制备方法，
15 其特征在于：上述步骤 (2) 和步骤 (4) 中搅拌头的高速旋转的速度为 $\omega=100-3000$ 转/分钟。

 3、根据权利要求 1 所述的对向搅拌摩擦焊接、材料改性及制备方法，
其特征在于：上述步骤 (4) 中的向前搅拌摩擦挤压速度为 0.01-50 米/分钟。

 4、根据权利要求 1 所述的对向搅拌摩擦焊接、材料改性及制备方法，
20 其特征在于：上述步骤 (4) 中的搅拌压力为 10-400MPa。

 5、根据权利要求 1 所述的对向搅拌摩擦焊接、材料改性及制备方法，
其特征在于：上述步骤 (4) 中搅拌区的深度取决于搅拌针的长度。

 6、根据权利要求 1 所述的对向搅拌摩擦焊接、材料改性及制备方法，
其特征在于：所述的待焊件或原材料为金属材料、或塑料、或复合材料。

25 7、根据权利要求 1 或 6 所述的对向搅拌摩擦焊接、材料改性及制备方法，
其特征在于：所述的待焊件母材或原材料的厚度为 1-500 毫米。

对向搅拌摩擦焊接、材料改性及制备方法

所属技术领域

- 5 本发明涉及一种对向搅拌摩擦技术，可适用于材料的焊接、材料改性、复合材料的制备或固态搅拌机械合金化。

背景技术

- 搅拌摩擦焊接技术（Friction Stir Welding, FSW）是1991年由英国焊接研究所（The Welding Institute, TWI）发明的（专利号US5460317, 1991.12.），
- 10 在Al、Mg、Cu及其合金以及钢铁、塑料的焊接领域引起了新的技术革命。该技术的基本原理是利用高速旋转的搅拌头（包括搅拌针）插入到焊缝中，利用搅拌头的强烈摩擦和搅拌作用，使焊缝区材料处于热塑性状态并被破碎、混合，然后在一定的横向压力作用下被焊合在一起。搅拌头在旋转的同时沿焊缝区向前挤压，从而在搅拌头后方形成焊缝，达到固态焊接的目的。
- 15 目前搅拌摩擦焊接技术均为采用悬臂式的单向焊接技术，即采用一个搅拌头从被焊母材的一个表面进行焊接，因此在搅拌头的移动过程中，被焊母材将对搅拌针将产生一个很大的弯矩作用。弯矩的大小随被焊母材的厚度增加而增加，因此可焊接的母材厚度受到极大限制。目前对于较软的铝合金的焊接，其最大厚度只能达到100毫米左右，并且是采用两道工序，即先从一个面焊
- 20 接，然后从另一个面进行焊接。另外，单向搅拌摩擦焊接过程中，在接头厚度方向上的温度分布很不均匀，存在较大的温度梯度，使得焊缝区的组织结构在厚度方向上存在差异。

发明内容

- 本发明解决的技术问题是：克服现有搅拌摩擦技术搅拌深度较浅的缺
- 25 点，提供一种可加工厚板材的对向搅拌摩擦技术。该技术不仅适用于材料的

焊接，也可用于材料的改性、复合材料的制备以及材料的机械合金化。

本发明的技术解决方案是：对向搅拌摩擦方法，其特点在于：采用两个同轴的对称搅拌头和一根贯通的搅拌针作为工作部件，搅拌针固定在两个搅拌头的轴向，具体包括下列步骤：

5 (1) 把待焊件（或原材料）用刚性夹具固定在工作台上；

 (2) 把搅拌针装在上搅拌头中，随后高速旋转搅拌头并沿待焊件（或原材料）插入直至贯通，且上搅拌轴肩紧紧地与待焊件（或原材料）的上表面接触；

10 (3) 把贯通的搅拌针的另一端固定在下搅拌头中，且使下搅拌轴肩紧紧地与待焊件（或原材料）的下表面接触；

 (4) 使搅拌头高速旋转，同时利用搅拌轴肩对待焊件（或原材料）施加一定的搅拌压力。当待焊件（或原材料）的搅拌区达到一定的温度后，使待焊件的待焊面（或原材料）相对于搅拌头向前挤压；

15 (5) 松开下搅拌头，并提升上搅拌头使搅拌针从待焊件（或原材料）中退出。

 上述步骤（2）和步骤（4）中的高速旋转的旋转速度为 $\omega=100-3000$ 转/分钟；步骤（4）中的搅拌头的移动速度为 0.01-50 米/分钟，搅拌压力为 10-400MPa。

20 本发明的原理是：把搅拌针看作悬臂梁，则在搅拌头的移动过程中，搅拌针受到被搅拌材料的弯矩作用。假设弯矩随距支点的距离线性增加，则单向搅拌摩擦过程中搅拌针受到的弯矩分布如图 1a 所示。其中 L 为搅拌针工作部位的长度（搅拌深度）， T_{max} 为最大弯矩。假设采用对向搅拌摩擦工艺，即悬臂梁（搅拌针）具有两个支点。当悬臂梁的长度 L 不变时，则最大弯矩为 $T_{max}/2$ ，如图 1b 所示；如最大弯矩 T_{max} 不变，则悬臂梁的长度将
25 增加到 2L，如图 1c 所示。可见，在其它条件不变的前提下，采用对向的搅拌摩擦技术，可以使搅拌深度 L 增加。

本发明与现有搅拌摩擦技术相比具有的优点如下：

- (1) 搅拌区深度大幅度提高；
- (2) 搅拌区的温度分布和组织更加均匀。

附图说明

5 图 1a—图 1c 为本发明原理示意图；

图 2 为本发明用于对向搅拌摩擦焊接（对焊）原理示意图。图中，1a、1b 为被焊母材；2a、2b 为搅拌轴肩；3 为搅拌针；4 为摩擦搅拌区（焊缝）；5 为母材的待焊接面；V 为搅拌头移动方向； ω 为搅拌头旋转方向；P 为焊接压力。

10 图 3 为本发明用于对向搅拌摩擦固体材料改性原理示意图。1a 为待改性的材料（母材）；2a、2b 为搅拌轴肩；3 为搅拌针；4 为摩擦搅拌区；5' 为母材改性区；V 为搅拌头移动方向； ω 为搅拌头旋转方向；P 为搅拌压力。

图 4 为本发明用于对向搅拌摩擦固态机械合金化或制备复合材料原理示意图。1a、1b 为用于制备合金的母材（原材料）；2a、2b 为搅拌轴肩；15 3 为搅拌针；4 为摩擦搅拌区；5'' 为合金化区；V 为搅拌头移动方向； ω 为搅拌头旋转方向；P 搅拌压力。

图 5 为本发明采用的对向搅拌摩擦设备结构示意图。

具体实施方式

实施例 1，如附图 2 所示，利用附图 5 所示的对向搅拌摩擦设备焊接铝
20 合金，铝合金的厚度为 200 毫米。该设备主要由控制系统、驱动系统、压力系统、对向搅拌头（包括搅拌针）和工作台组成。整个设备的动作由控制系统控制；压力系统提供搅拌摩擦过程中所需要的压力，包括搅拌头所需的搅拌压力和工作台移动所需的挤压压力；搅拌头的旋转速度以及工作台的移动、定位由控制系统通过驱动系统来实现；工作台主要用来固定样品。该设
25 备的核心部件为具有两个同轴的对向搅拌头。

具体的焊接过程如下：

(1) 把经过加工的铝合金的焊接面对接在一起，并固定在工作台的刚性卡具上；

(2) 把搅拌针装在图 5 所示的上搅拌头中，随后高速旋转并沿铝合金的待焊面插入直至贯通，且上搅拌轴肩紧紧地与待焊件的上表面接触；

5 (3) 把贯通的搅拌针的另一端固定在下搅拌头中，且使下搅拌轴肩紧紧地与待焊件的下表面接触；

(4) 调整控制设备使搅拌头以 $\omega=100-3000$ 转/分钟的速度旋转，待铝合金的搅拌区达到一定的温度后，驱动工作台使铝合金的待焊面相对于搅拌头移动，移动速度 $V=0.01-50$ 米/分钟，焊接压力 $P=10-400\text{MPa}$ ；

10 (5) 焊接完毕后，迅速松开下搅拌头，并提升上搅拌头使搅拌针从铝合金中退出。

实施例 2，如附图 3 所示，利用图 5 所示的对向搅拌摩擦设备制备细晶粒的铝合金，铝合金的厚度为 150 毫米。

具体工艺过程如下：

15 (1) 把铝合金固定在工作台的刚性卡具上；

(2) 把搅拌针装在附图 5 所示的上搅拌头中，随后高速旋转并插入铝合金中直至贯通，使上搅拌头的搅拌轴肩紧紧地与铝合金的上表面接触；

(3) 把贯通的搅拌针的另一端固定在下搅拌头中，且使下搅拌轴肩紧紧地与铝合金的下表面接触；

20 (4) 调整控制设备使搅拌头以 $\omega=100-3000$ 转/分钟的速度旋转，待铝合金的搅拌区上升到一定的温度后，驱动工作台使铝合金相对搅拌头移动，移动速度 $V=0.01-50$ 米/分钟，搅拌压力 $P=10-400\text{MPa}$ ；

(5) 待搅拌头移动到所设定的距离后，改变搅拌头的移动方向，使搅拌头沿原搅拌迹线往回挤压；

25 (6) 根据欲制备的合金的晶粒度大小，重复上述过程 (4)、(5)，直到获得所需的晶粒尺寸；

(7) 迅速松开下搅拌头，并提升上搅拌头使搅拌针从铝合金中退出。

实施例 3，如图 4 所示，采用 Mg、Al 板材，利用图 5 所示的对向搅拌摩擦设备制备 Mg-Al 合金（固态搅拌机械合金化），镁、铝板材原料的厚度均为 80 毫米。

5 具体工艺过程如下：

(1) 把镁、铝板材叠放在一起并固定在工作台的刚性卡具上；

(2) 把搅拌针固定在图 5 所示的上搅拌头中，随后高速旋转并插入叠层板材中直至贯通，使上搅拌头的搅拌轴肩紧紧地与叠层材料的上表面接触；

10 (3) 把贯通的搅拌针的另一端固定在下搅拌头中，且使下搅拌轴肩紧紧地与叠层材料的下表面接触；

(4) 调整控制设备使搅拌头以 $\omega=100-3000$ 转/分钟的速度旋转，待搅拌区达到一定的温度后，驱动工作台使叠层原料相对于搅拌头移动，移动速度 $V=0.01-10$ 米/分钟，搅拌压力 $P=10-400\text{MPa}$ ；

15 (5) 待搅拌头移动到所设定的距离后，改变搅拌头的移动方向，使搅拌头沿原搅拌迹线往回移动；

(6) 重复上述过程 (4)、(5)，直到在搅拌区中获得所需的合金；

(7) 迅速松开下搅拌头，并提升上搅拌头使搅拌针从原料中退出。

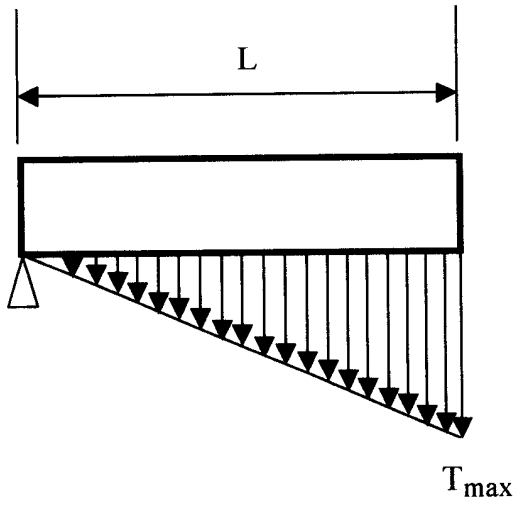


图 1a

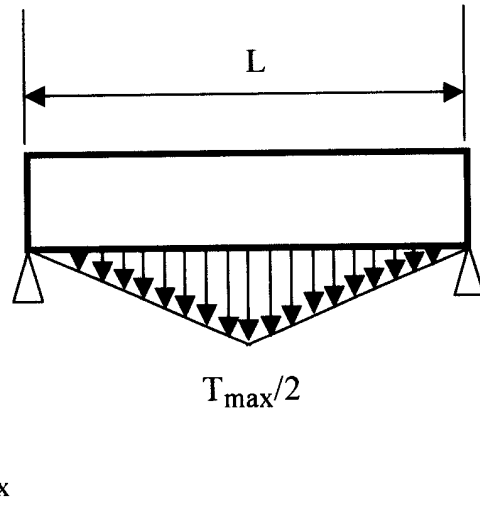


图 1b

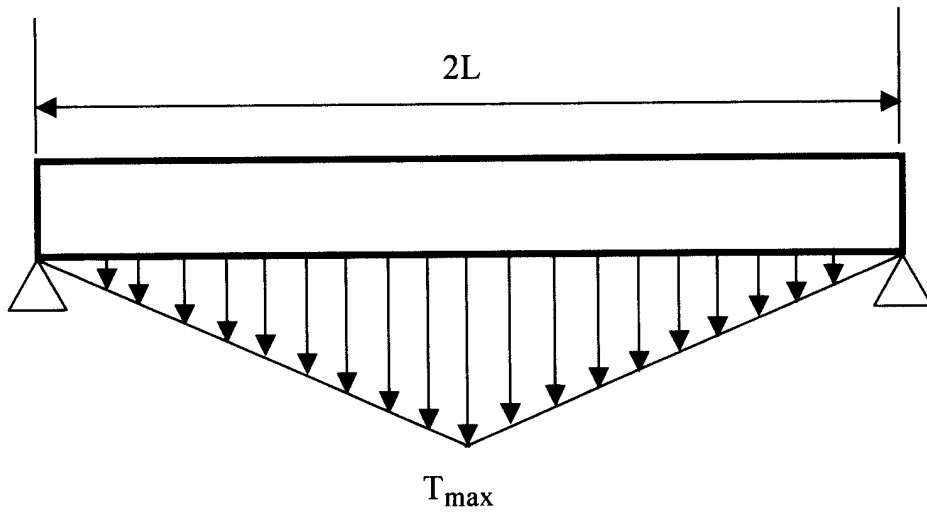


图 1c

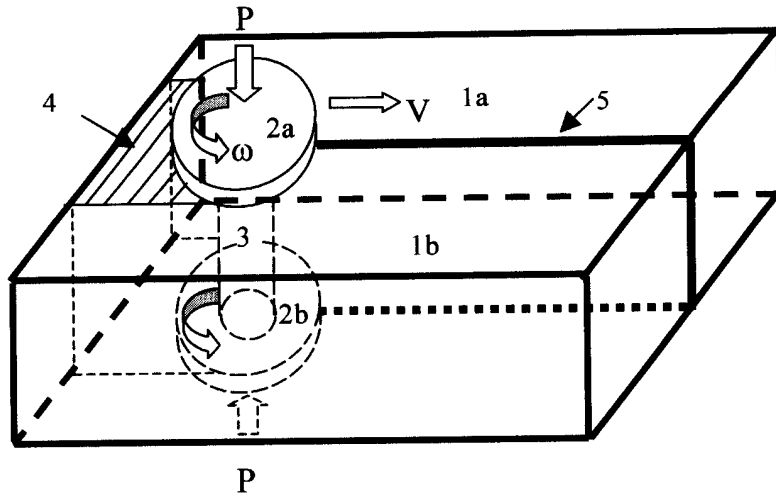


图 2

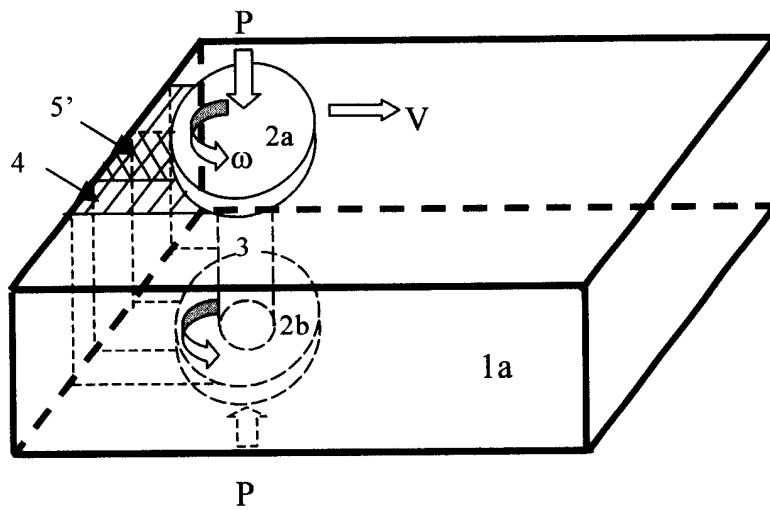


图 3

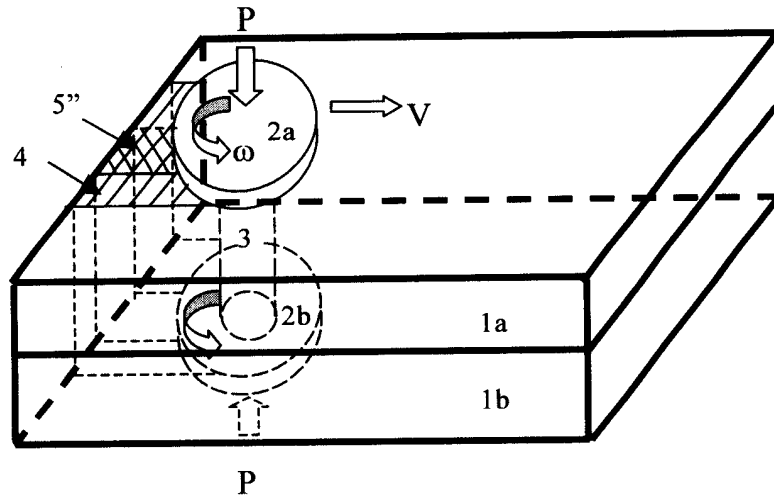


图 4

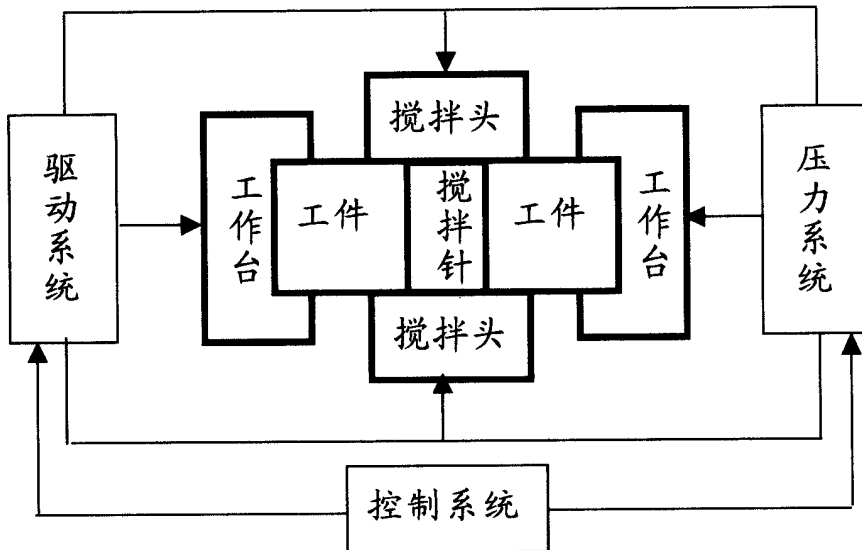


图 5