

(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织
国际局

(43) 国际公布日
2024 年 9 月 12 日 (12.09.2024)



(10) 国际公布号
WO 2024/183111 A1

- (51) 国际专利分类号:
B29D 99/00 (2010.01) **B29C 65/06** (2006.01)
- (21) 国际申请号: PCT/CN2023/084343
- (22) 国际申请日: 2023 年 3 月 28 日 (28.03.2023)
- (25) 申请语言: 中文
- (26) 公布语言: 中文
- (30) 优先权:
202310197774.7 2023年3月3日 (03.03.2023) CN
- (71) 申请人: 江苏科技大学 (JIANGSU UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY) [CN/CN]; 中国江苏省镇江市京口区梦溪路 2 号, Jiangsu 212003 (CN)。
- (72) 发明人: 周应国 (ZHOU, Yingguo); 中国江苏省镇江市京口区梦溪路 2 号, Jiangsu 212003 (CN)。 蒋振

国 (JIANG, Zhengu); 中国江苏省镇江市京口区梦溪路 2 号, Jiangsu 212003 (CN)。 杨金强 (YANG, Jinqiang); 中国江苏省镇江市京口区梦溪路 2 号, Jiangsu 212003 (CN)。 陈书锦 (CHEN, Shujin); 中国江苏省镇江市京口区梦溪路 2 号, Jiangsu 212003 (CN)。 邹俊 (ZOU, Jun); 中国江苏省镇江市京口区梦溪路 2 号, Jiangsu 212003 (CN)。

- (74) 代理人: 南京苏高专利商标事务所 (普通合伙) (NANJING SUGAO PATENT AND TRADEMARK FIRM (ORDINARY PARTNERSHIP)); 中国江苏省南京市白下区中山东路 198 号龙台国际大厦 1912 室, Jiangsu 210005 (CN)。
- (81) 指定国 (除另有指明, 要求每一种可提供的国家保护): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ,

(54) **Title:** PREPARATION METHOD AND DEVICE FOR FIBER WIRE FOR FRICTION STIR WELDING, AND WELDING METHOD FOR FIBER WIRE

(54) 发明名称: 用于搅拌摩擦焊的纤维丝材制备方法、设备及其焊接方法

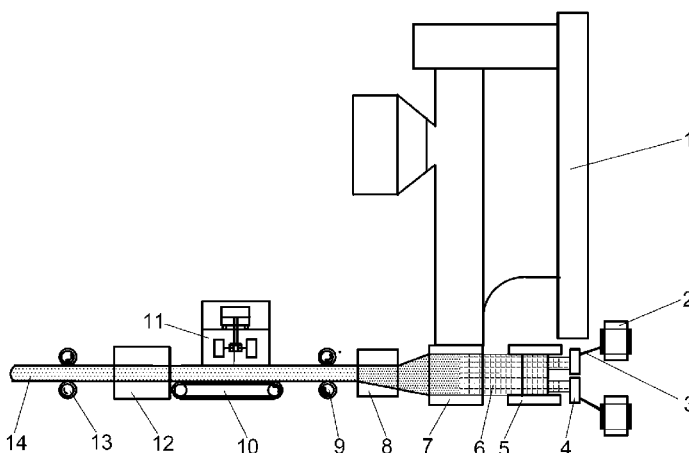


图 1

(57) **Abstract:** Disclosed are a preparation method and device for a fiber wire for friction stir welding, and a welding method for a fiber wire. The preparation method comprises the following steps: S1, spreading a bundle-shaped fiber material and pre-impregnating same in a shaping adhesive to form a unidirectional thin-layer fiber belt, and melting and plasticizing a thermoplastic polymer and then applying same onto the unidirectional thin-layer fiber belt to form a fiber coating belt; S2, axially winding the fiber coating belt to form a unidirectional multi-layer fiber/polymer prepreg wire having a circular section; and S3, slitting the unidirectional multi-layer fiber/polymer prepreg wire, keeping same in a semi-connected state, and performing hot-melting treatment and cooling to obtain a fiber wire that is fused after slitting. The fiber wire of the present invention can be uniformly and omnidirectionally distributed at a welding part during welding, thereby significantly improving the strength of a weld seam; slit fibers can be driven by a stirring head rotating at a high speed, so as to be distributed in a 360-degree omnidirectional mode, and the weld seam at all angles can be reinforced by the fibers, thereby avoiding the anisotropy of mechanical properties, which is possibly caused by fiber reinforcement, at the weld seam.

IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ,
LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN,
MU, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA,
PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD,
SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ,
UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW。

(84) 指定国(除另有指明, 要求每一种可提供的地区
保护): ARIPO (BW, CV, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ,
NA, RW, SC, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚
(AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE,
BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR,
HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, ME, MK, MT, NL, NO,
PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF,
CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN,
TD, TG)。

本国际公布:

— 包括国际检索报告(条约第21条(3))。

(57) 摘要: 本发明公开了用于搅拌摩擦焊的纤维丝材制备方法和设备及焊接方法, 制备方法包括以下步骤: S1、束状纤维材料经过宽展后并预浸定型胶形成单向薄层纤维带, 将热塑性聚合物熔融塑化后涂覆在单向薄层纤维带上形成纤维涂覆带; S2、将纤维涂覆带轴向卷绕形成截面为圆形的单向多层纤维/聚合物预浸丝材; S3、将单向多层纤维/聚合物预浸丝材分切并保持半连状态后热熔处理并冷却得到切后再熔合的纤维丝材, 本发明的纤维丝材焊接时能被均匀全方位分布在焊接部位, 从而显著提高焊缝的强度, 分切后的纤维可在高速旋转的搅拌头带动下呈现360度全方位的分布, 焊缝处的各个角度均能得以纤维增强, 避免了焊缝处力学性能因纤维增强所可能带来的各向异性。

用于搅拌摩擦焊的纤维丝材制备方法、设备及其焊接方法

技术领域

本发明涉及焊接技术领域，尤其是用于搅拌摩擦焊的纤维丝材制备方法和设备及焊接方法。

背景技术

材料焊接可以显著提高制品生产的可连续性，对于较多复杂金属制品来说，合理的焊接工艺可以明显缩短制造周期，减轻制品重量，提高制品外形及结构设计的灵活性，因而，焊接成为了一种重要的制品成型的工艺方法而广为关注，应用极其广泛。其中，搅拌摩擦焊（FSW）作为一种固态焊接过程，靠旋转工具和工件材料之间的摩擦产生热量，进而导致搅拌摩擦焊工具附近区域变软、混合并最终实现工件的结合。工件经过搅拌摩擦焊后往往具有较好的力学性能。目前，该工艺主要用于轻合金及低碳钢等的连接，也少量用于聚合物的焊接。

相对其它焊接方法来说，聚合物的搅拌摩擦焊具有温度低、塑性变形剧烈、接头质量高等优点，但也具有较多的限制及不足，比如，焊接质量受工艺的影响很大，因而施焊工艺窗口窄，在实际应用中施焊最优工艺不易稳定等，其实质性的原因则在于焊缝处的强度仍然远远低于母材，导致焊件在应用过程中的失效主要发生在焊接区域。

发明内容

发明目的：本发明的目的在于提供一种用于搅拌摩擦焊的纤维丝材制备方法和设备及焊接方法，能够显著提升焊件的力学性能。

技术方案：在第一方面，本发明提供的用于搅拌摩擦焊的纤维丝材制备方法，包括以下步骤：

步骤 S1、束状纤维材料经过宽展后并预浸定型胶形成单向薄层纤维带，将热塑性聚合物熔融塑化后涂覆在单向薄层纤维带上形成纤维涂覆带；步骤 S2、将纤维涂覆带轴向卷绕形成截面为圆形的单向多层纤维/聚合物预浸丝材；步骤 S3、将单向多层纤维/聚合物预浸丝材分切并保持半连状态后热熔处理并冷却得到切后再熔合的纤维丝材。

进一步的，所述步骤 S1 中，所述热塑性聚合物与待焊接的母材材料相同。

进一步的，所述步骤 S1 中，纤维涂覆带纤维含量为 40%~60%。

进一步的，所述步骤 S2 中，单向多层纤维/聚合物预浸丝材的截面分层线为阿基米德螺旋线。

进一步的，所述步骤 S3 中，切断比例占整个圆形截面的 70~90%，分切长度为搅拌摩擦焊头直径的 1.5~2.5 倍。

进一步的，所述步骤 S3 中，分切后的单向多层纤维/聚合物预浸丝材在热熔处理时轴向受力挤压再熔。

在另一方面，上述方法制备得到的纤维丝材，其应用于热塑性聚合物搅拌摩擦焊接工艺，具体的，焊接方法包括如下步骤：

步骤 1、将欲连接件的待焊部位修理平整后并将待焊部位中部去除材料；

步骤 2、将所制备的纤维丝材嵌入或熔入已去除材料的待焊部位后将待焊部位压平；

步骤 3、将两欲连接件的待焊部位对接后施以横向作用力，并压紧固定，经过搅拌头的高速旋转后，两件被连接。

进一步的，步骤 1 中待焊部位中部去除的材料与步骤 2 欲嵌入或熔入纤维丝材的体积量保持一致，步骤 3 的焊接过程中，下压力控制为压入焊丝后搅拌头轴肩端面超出焊丝上表面 0.05~0.15mm，且下压力小于或等于焊件厚度与搅拌针长度之间的差值。

在另一方面，本发明提供一种用于搅拌摩擦焊的纤维丝材制备设备，包括：

挤出机，用于将热塑性聚合物熔融塑化后挤出；展纱辊，用于将束状纤维材料宽展后形成单向薄层纤维干带；纤维带黏合辊，用于将单向薄层纤维干带预浸定型胶形成整片的单向薄层纤维带；浸渍机头，用于将熔融塑化后的热塑性聚合物涂覆单向薄层纤维带形成纤维涂覆带；轴向卷绕器，用于对纤维涂覆带沿轴向卷绕形成单向多层纤维/聚合物预浸丝材；牵引对辊，用于将单向多层纤维/聚合物预浸丝材牵引至履带牵引机上；纵向切割器，用于对单向多层纤维/聚合物预浸丝材进行纵向分切；热熔烘箱，用于对单向多层纤维/聚合物预浸丝纵向切割后的断口再熔，再熔后冷却即得到纤维丝材。

进一步的，还包括调速对辊，其速度与牵引对辊的速度相同，且小于履带牵引机的速度。

有益效果：本发明能够显著提高焊缝的强度；本发明避免了焊缝处力学性能因纤维增强所可能带来的各向异性；本发明可以有效避免普通聚合物搅拌摩擦焊容易产生的焊缝孔隙或间隙存在的机率；本发明使用方便，丝材分切后的再熔合可显著提高使用的便利性，焊接易实施；丝材制备及焊接过程均绿色无污染。

附图说明

图 1 为本发明的纤维丝材的制备设备结构示意图；

图 2 为本发明的纤维丝材切后再熔合实物图；

图 3 为本发明的焊接实物图；

图 4 为本发明实施例 1 的纤维丝材在工件焊缝处的 SEM 表征图；

图 5 为本发明实施例 2 的以聚碳酸酯为原料无纤维材料焊接后的 SEM 表征图；

图 6 为本发明实施例 1 和实施例 2 焊接测试样片的测试前后的样品外形图；

图 7 为本发明实施例 3 中所连接的工件焊缝处 SEM 表征图。

具体实施方式

下面结合附图和具体实施例对本发明技术方案作进一步说明。

如图 1 所示的是本发明的用于制备搅拌摩擦焊所使用的纤维丝材的设备，该图 1 也同样显示了纤维丝材的制备工艺，设备主要包括挤出机 1，纱架 2，展纱辊 4，纤维带黏合辊 5，浸渍机头 7，轴向卷绕器 8、牵引对辊 9、履带牵引机 10、纵向切割器 11、热熔烘箱 12 和调速对辊 13。

挤出机 1 连接浸渍机头 7，挤出机 1 一侧设置依次纱架 2，展纱辊 4，纤维带黏合辊 5，挤出机 1 的另一侧依次设置有轴向卷绕器 8、牵引对辊 9、热熔烘箱 12 和调速对辊 13，此外在牵引对辊 9 和热熔烘箱 12 之间设置有履带牵引机 10 和纵向切割器 11，纵向切割器 11 设置在履带牵引机 10 的正上方。

通过上述的设备制备纤维丝材的步骤如下：

步骤（1），将热塑性聚合物通过挤出机 1 熔融塑化后进入到浸渍机头 7 中；

步骤（2），将特定的纤维材料置于纱架 2 中，此时纤维材料为束状，纤维束 3 经过展纱辊 4 的宽展作用后形成单向薄层纤维干带；纱架 2 的数量可以为一个或一个之上，展纱辊 4 的数量与纱架 2 应保持一致；

步骤（3），若干展平后的纤维干带经过纤维带黏合辊 5 时被预浸微量定型胶形成整片的单向薄层纤维带 6，该纤维带 6 也进入到浸渍机头 7 中，纤维带 6 被均匀的涂上聚合物高温熔体，形成纤维涂覆带；控制纤维涂覆带的涂覆量可控制纤维含量并保证纤维在该涂覆带中的均匀分布，本实施例中，纤维含量保持在 40%~60%之间；

步骤（4），纤维涂覆带被随后的轴向卷绕器 8 沿轴向卷绕，形成截面为圆形的单向多层纤维/聚合物预浸丝材；

步骤（5），丝材在牵引对辊 9 的作用下进入到履带牵引机 10 上，并被纵向切割器 11 分切并保持半连状态；

步骤（6），半连状态的丝材在通过热熔烘箱 12 时，断口处的聚合物少量熔融，同时，受到后面的调速对辊 13 的轻微阻滞力量，使熔融的聚合物受压并相互黏结，从而形成了切后再熔合的纤维丝材 14，该丝材后续被缠绕或卷取后备用，调速对辊 13 的速度可与牵引对辊 9 的速度保持一致，它们的速度均比履带牵引的速度低 2~5%。

上述方法制备得到的纤维丝材，其应用于热塑性聚合物搅拌摩擦焊的焊接工艺，具体的，包括如下步骤：

- 1) 将欲连接件的待焊部位修理平整后并将待焊部位中部去除适量材料；
- 2) 将所制备的丝材嵌入或熔入待焊部位后将待焊部位压平；

3) 将两欲连接件的待焊部位对接后施以适量横向作用力, 并随后压紧固定在工作台上, 在确定的焊接工艺条件下, 经过搅拌头的高速旋转后, 两件被连接。

其中, 在步骤 1) 中每一个待焊部位中部去除的材料与步骤 2) 欲嵌入或熔入丝材的体积量保持一致。

在步骤 3) 中的焊接工艺条件主要包括下压量及焊接速度, 一般的, 下压量控制为压入焊丝后搅拌头轴肩端面超出焊丝上表面 0.05~0.15mm 为宜, 且下压量小于或等于焊件厚度与搅拌针长度之间的差值。

实施例 1

为更容易展示实施效果, 本实施例针对透明聚碳酸酯焊件开展搅拌摩擦焊, 使用的主要原料包括聚碳酸酯 (PC, 熔融体积速率为 $24\text{cm}^3/10\text{min}$, ($300^\circ\text{C}/1.2\text{kg}$)) 及碳纤维 (12K, T700), 均为市售。

整个过程主要包括丝材制备及施焊两步, 其中丝材制备过程如下:

首先, 将聚碳酸酯通过挤出机 1 熔融塑化后进入到浸渍机头 7 中, 同时, 将 1 束碳纤维置于纱架 2 中, 经过展纱辊 4 的宽展作用后形成单向薄层纤维干带, 再经过纤维带黏合辊 5 时被预浸微量定型胶形成整片的单向薄层纤维带 6, 纤维含量保持在 50%, 该纤维带 6 也进入到浸渍机头 7 中, 纤维带 6 被均匀的涂上聚碳酸酯高温熔体, 形成纤维涂覆带;

其次, 纤维涂覆带被随后的轴向卷绕器 8 沿轴向卷绕, 截面逐渐形成阿基米德螺旋线, 形成截面为圆形的单向多层纤维/聚合物预浸丝材, 丝材在牵引对辊 9 的作用下进入到履带牵引机 10 上, 并被纵向切割器 11 分切并保持半连状态; 切断比例占整个圆形纤维/聚合物预浸物截面的 80%, 分切长度为 12mm (搅拌摩擦焊头直径为 6mm), 半连状态的丝材在通过热熔烘箱 12 时, 断口处的聚合物少量熔融, 同时, 由于调速对辊 13 的速度与牵引对辊 9 的速度一致, 它们的速度均比履带牵引的速度低 3%, 因而, 半连状态的丝材会受到后面调速对辊 13 的轻微阻滞作用, 熔融的聚合物受压并相互黏结, 从而形成了切后再熔合的纤维丝材 14, 该丝材后续被缠绕或卷取后备用。切后再熔合的纤维丝材的外形如图 2 所示。熔合指的是本发明中, 断口处的纤维丝材的聚合物熔融, 熔融的聚合物受压并相互黏结, 冷却后断口处的聚合物以粘合的方式连接, 其中, 在断口处, 粘合后受到切割的纤维仍然保持切断状态。

制备的丝材继而被用于搅拌摩擦焊, 主要包括:

1) 通过热压或其它工艺获得以聚碳酸酯为原料的将欲连接件, 将其待焊部位修理平整后并将待焊部位中部去除与丝材截面相当的材料;

2) 将所制备的丝材嵌入到待焊部位后将待焊部位再次压平;

3) 将两欲连接件的待焊部位对接后施以适量横向作用力, 并随后压紧固定在工作台上, 在确定的焊接工艺条件下, 经过搅拌头的高速旋转后, 两件被连接为一体。

上述过程及焊接制品形状效果如图 3 所示。

其中, 由于丝材在嵌入待焊部位后, 丝材距离焊件外上壁有 0.2mm, 则焊接头的下压量控制为 0.30mm, 焊件厚度为 2mm, 选择的搅拌针长度为 1.5mm。

对所连接的工件焊缝处用 SEM 表征, 其结果如图 4 所示, 在图 4 中可以看出, 几乎同等长度的纤维呈圆弧状均匀分布, 从其结构可以预见纤维的增强作用。分切后的纤维可在高速旋转的搅拌头带动下呈现 360 度全方位的分布, 此时焊缝处的各个角度均能得以纤维增强, 避免了焊缝处力学性能因纤维增强所可能带来的各向异性, 丝材的应用也可以有效避免普通聚合物搅拌摩擦焊容易产生的焊缝孔隙或间隙存在的机率。

对所连接工件截取出矩形测试样片, 进行拉伸力学性能测试, 其外形结果如图 6 所示, 其中图 6a 与 6b 分别显示的是测试前后的样品外形, 从图 6b 可知, 此时拉伸断裂并不发生在焊缝处, 而是离焊接稍近的影响区域, 这足以表明焊缝处的力学性能较好, 已经超过母材的影响区域。测试结果列于表 1 之中。

从表 1 结果可知, 该实施例所得焊缝的拉伸强度接近母材, 因而, 本发明的丝材增强焊件具有特定形态的纤维分布结构, 表现出力学性能优异的特点, 具有优异的应用前景。

实施例 2

为了与实施例 1 对比, 与实施例 1 类似的, 本对比实施例也使用市售聚碳酸酯 (熔融体积速率为 $24\text{cm}^3/10\text{min}$) 作为母材原料, 不同的是实施例 2 没有使用纤维丝材, 其焊接工艺主要为: 通过热压或其它工艺获得以聚碳酸酯为原料的将欲连接件, 然后将两欲连接件的待焊部位对接后施以适量横向作用力, 并随后压紧固定在工作台上, 在确定的焊接工艺条件下, 经过搅拌头的高速旋转后, 两件被连接为一体。

对所连接的工件焊缝处用 SEM 表征, 其结果如图 5 所示, 在图 5 中可以看出, 焊缝的结合处有较多的空隙及间隙, 因而该焊缝强度可以预见不会太好。

对所连接工件截取出矩形测试样片, 进行拉伸力学性能测试, 其外形结果也如图 6 所示, 其中图 6c 与 6d 分别显示的是测试前后的样品外形, 从图 6d 可知, 此时拉伸断裂毫无悬念的出现在焊缝处, 这足以表明焊缝处的力学性能有待提高。

拉伸力学性能测试, 其结果也列于表 1 之中, 此时拉伸断裂均发生在焊缝处, 表明焊缝处的力学性能仍然较低。从表 1 结果可知, 该对比比例所得焊缝的拉伸强度与实施例 1 差距很大, 表明使用纤维丝材与否对焊接质量的影响较大。

实施例 3

为了和实施例 1 对比,本对比例也针对透明聚碳酸酯焊件开展搅拌摩擦焊,使用的主要原料包括聚碳酸酯(熔融体积速率为 $24\text{cm}^3/10\text{min}$)及碳纤维(12K, T700),均为市售。

整个过程主要包括丝材制备及施焊两步,其中丝材制备过程中除不进行切割以外,和现有常规长纤维增强聚合物颗粒料类似:将聚碳酸酯通过挤出机熔融塑化后进入到浸渍机头中,同时,将置于纱架中的碳纤维丝束也引入到浸渍机头中,纤维在浸渍机头中被浸上聚碳酸酯高温熔体,形成截面不太规则的纤维/聚合物预浸丝材,该丝材后续被牵引、缠绕或卷取后备用,形成连续的丝材。

制备的丝材继而被用于搅拌摩擦焊,步骤如下:

- 1) 通过热压或其它工艺获得以聚碳酸酯为原料的将欲连接件,将其待焊部位修理平整后并将待焊部位中部去除与丝材截面相当的材料;
- 2) 将所制备的丝材嵌入到待焊部位后,按需切断,再将待焊部位再次压平;
- 3) 将两欲连接件的待焊部位对接后施以适量横向作用力,并随后压紧固定在工作台上,在确定的焊接工艺条件下,经过搅拌头的高速旋转后,两件被连接为一体。

对所连接的工件焊缝处用 SEM 表征,其结果如图 7 所示,在图 7 中可以看出,焊缝处的纤维分布很乱,纤维长度差距也较大,纤维在各方向的分布也比较混乱。

对所连接工件截取出矩形测试样片,进行拉伸力学性能测试,其结果也列于表 1 之中,此时拉伸断裂均发生在焊缝处,表明焊缝处的力学性能仍然较低。从表 1 结果可知,该对比例所得焊缝的拉伸强度与实施例差距较大,表明纤维丝材的制备方法对焊接质量的影响较大。

实施例 4

本实施例针对尼龙焊件开展搅拌摩擦焊,使用的主要原料包括尼龙(PA66,熔融体积速率为 $23\text{cm}^3/10\text{min}$)及玻璃纤维(12K, T700),均为市售。

整个过程主要包括丝材制备及施焊两步,其中丝材制备过程如下:

首先,将 PA66 通过挤出机 1 熔融塑化后进入到浸渍机头 7 中,同时,将 2 束碳纤维分别置于两个纱架 2 中,分别经过两个展纱辊 4 的宽展作用后形成单向薄层纤维干带,两条单向薄层纤维干带再经过纤维带黏合辊 5 时被预浸微量定型胶形成整片的单向薄层纤维带 6,纤维含量保持在 60%,该纤维带 6 也进入到浸渍机头 7 中,纤维带 6 被均匀的涂上 PA66 高温熔体,形成纤维涂覆带;

其次,纤维涂覆带被随后的轴向卷绕器 8 沿轴向卷绕,截面逐渐形成阿基米德螺旋线,形成截面为圆形的单向多层纤维/聚合物预浸丝材,丝材在牵引对辊 9 的作用下进入到履带牵引机 10 上,并被纵向切割器 11 分切并保持半连状态;切断比例占整个圆形纤

维/聚合物预浸物截面的 90%，分切长度为 9cm（搅拌摩擦焊头直径为 6mm），半连状态的丝材在通过热熔烘箱 12 时，断口处的聚合物少量熔融，同时，由于调速对辊 13 的速度与牵引对辊 9 的速度一致，它们的速度均比履带牵引的速度低 5%，因而，半连状态的丝材会受到后面调速对辊 13 的轻微阻滞作用，熔融的聚合物受压并相互黏结，从而形成了切后再熔合的纤维丝材 14，该丝材后续被缠绕或卷取后备用。切后再熔合的纤维丝材的外形也与图 2 类似。

制备的丝材继而被用于搅拌摩擦焊，步骤如下：

1) 通过热压或其它工艺获得以聚碳酸酯为原料的将欲连接件，将其待焊部位修理平整后并将待焊部位中部去除与丝材截面相当的材料；

2) 将所制备的丝材嵌入到待焊部位后将待焊部位再次压平；

3) 将两欲连接件的待焊部位对接后施以适量横向作用力，并随后压紧固定在工作台上，在确定的焊接工艺条件下，经过搅拌头的高速旋转后，两件被连接为一体。

其中，由于丝材在嵌入待焊部位后，丝材距离焊件外上壁有 0.2mm，则焊接头的下压量控制为 0.35mm，焊件厚度为 2mm，选择的搅拌针长度为 1.5mm。

对所连接工件截取出矩形测试样片，进行拉伸力学性能测试，其测试结果列于表 1。从表 1 结果可知，该实施例所得焊缝的拉伸强度接近母材，因而，本发明的丝材增强焊件具有特定形态的纤维分布结构，表现出力学性能优异的特点，具有优异的应用前景。

实施例 5

为了和实施例 4 对比，本对比例也针对尼龙焊件开展无切割处理的纤维丝材搅拌摩擦焊，使用的主要原料包括尼龙（熔融体积速率为 $23\text{cm}^3/10\text{min}$ ）及碳纤维（12K, T700），均为市售。

整个过程主要包括丝材制备及施焊两步，其中丝材制备过程中除不进行切割以外，和现有常规长纤维增强聚合物颗粒料类似：将尼龙通过挤出机熔融塑化后进入到浸渍机头中，同时，将置于纱架中的碳纤维丝束也引入到浸渍机头中，纤维在浸渍机头中被浸上尼龙高温熔体，形成截面不太规则的纤维/聚合物预浸丝材，该丝材后续被牵引、缠绕或卷取后备用，形成连续的丝材。

制备的丝材继而被用于搅拌摩擦焊，步骤如下：

1) 通过热压或其它工艺获得以尼龙为原料的将欲连接件，将其待焊部位修理平整后并将待焊部位中部去除与丝材截面相当的材料；

2) 将所制备的丝材嵌入到待焊部位后，按需切断，再将待焊部位再次压平；

3) 将两欲连接件的待焊部位对接后施以适量横向作用力，并随后压紧固定在工作台上，在确定的焊接工艺条件下，经过搅拌头的高速旋转后，两件被连接为一体。

对所连接的工件焊缝处用 SEM 表征，其结果也与实施例 3 类似，焊缝处的纤维分布很乱，纤维长度差距也较大，纤维在各方向的分布也比较混乱。

对所连接工件截取出矩形测试样片，进行拉伸力学性能测试，其结果也列于表 1 之中，此时拉伸断裂均发生在焊缝处，表明焊缝处的力学性能仍然较低。从表 1 结果可知，该对比例所得焊缝的拉伸强度与实施例差距较大，表明纤维丝材的制备方法对焊接质量的影响较大。

实施例 6

与实施例 1 不同的是，本实施例中，纤维涂覆带纤维含量 40%；切断比例占整个圆形截面的 70%，分切长度为 15mm，焊接头的下压量控制为 0.25mm。

实施例 7

与实施例 1 不同的是，本实施例中，纤维涂覆带纤维含量 60%；切断比例占整个圆形截面的 90%，分切长度为 15mm，焊接头的下压量控制为 0.32mm。

表 1 几种焊件的拉伸性能比较

	样品原料及工艺特征	拉伸强度（MPa）	断裂伸长率（%）
实施例 1	PC/PC-CF（FSW）	48.15	8.86
实施例 2	PC（FSW）	22.31	3.31
实施例 3	PC/PC-CF（FSW）	36.89	4.12
实施例 4	PA/PA-GF（FSW）	51.39	6.41
实施例 5	PA/PA-GF（FSW）	42.42	4.83

。

权 利 要 求 书

1、一种用于搅拌摩擦焊的纤维丝材制备方法，其特征在于，包括以下步骤：

步骤 S1、束状纤维材料经过宽展后并预浸定型胶形成单向薄层纤维带，将热塑性聚合物熔融塑化后涂覆在单向薄层纤维带上形成纤维涂覆带；

步骤 S2、将纤维涂覆带轴向卷绕形成截面为圆形的单向多层纤维/聚合物预浸丝材；

步骤 S3、将单向多层纤维/聚合物预浸丝材分切并保持半连状态后热熔处理并冷却得到切后再熔合的纤维丝材。

2、根据权利要求 1 所述的一种用于搅拌摩擦焊的纤维丝材制备方法，其特征在于：所述步骤 S1 中，所述热塑性聚合物与待焊接的母材材料相同。

3、根据权利要求 1 所述的一种用于搅拌摩擦焊的纤维丝材制备方法，其特征在于：所述步骤 S1 中，纤维涂覆带纤维含量为 40%~60%。

4、根据权利要求 1 所述的一种用于搅拌摩擦焊的纤维丝材制备方法，其特征在于：所述步骤 S2 中，单向多层纤维/聚合物预浸丝材的截面分层线为阿基米德螺旋线。

5、根据权利要求 1 所述的一种用于搅拌摩擦焊的纤维丝材制备方法，其特征在于：所述步骤 S3 中，切断比例占整个圆形截面的 70~90%，分切长度为搅拌摩擦焊头直径的 1.5~2.5 倍。

6、根据权利要求 1 所述的一种用于搅拌摩擦焊的纤维丝材制备方法，其特征在于：所述步骤 S3 中，分切后的单向多层纤维/聚合物预浸丝材在热熔处理时轴向受力挤压再熔。

7、根据权利要求 1-6 所述的任一种用于搅拌摩擦焊的纤维丝材制备方法制备的纤维丝材的焊接方法，其特征在于，包括如下步骤：

步骤 1、将欲连接件的待焊部位修理平整后并将待焊部位中部去除材料；

步骤 2、将所制备的纤维丝材嵌入或熔入已去除材料的待焊部位后将待焊部位压平；

步骤 3、将两欲连接件的待焊部位对接后施以横向作用力，并压紧固定，经过搅拌头的高速旋转后，两件被连接。

8、根据权利要求 7 所述的用于搅拌摩擦焊的纤维丝材的焊接方法，其特征在于，步骤 1 中待焊部位中部去除的材料与步骤 2 欲嵌入或熔入纤维丝材的体积量保持一致，步骤 3 的焊接过程中，下压量控制为压入焊丝后搅拌头轴肩端面超出焊丝上表面 0.05~0.15mm，且下压量小于或等于焊件厚度与搅拌针长度之间的差值。

9、一种用于搅拌摩擦焊的纤维丝材制备设备，其特征在于，包括：

挤出机（1），用于将热塑性聚合物熔融塑化后挤出；

展纱辊（4），用于将束状纤维材料宽展后形成单向薄层纤维干带；

纤维带黏合辊（5），用于将单向薄层纤维干带预浸定型胶形成整片的单向薄层纤维

带 (6);

浸渍机头 (7), 用于将熔融塑化后的热塑性聚合物涂覆单向薄层纤维带 (6) 形成纤维涂覆带;

轴向卷绕器 (8), 用于对纤维涂覆带沿轴向卷绕形成单向多层纤维/聚合物预浸丝材;

牵引对辊 (9), 用于将单向多层纤维/聚合物预浸丝材牵引至履带牵引机 (10) 上;

纵向切割器 (11), 用于对单向多层纤维/聚合物预浸丝材进行纵向分切;

热熔烘箱 (12), 用于对单向多层纤维/聚合物预浸丝纵向切割后的断口再熔, 再熔后冷却即得到纤维丝材。

10、根据权利要求 9 所述的一种用于搅拌摩擦焊的纤维丝材制备设备, 其特征在于: 还包括调速对辊 (13), 其速度与牵引对辊 (9) 的速度相同, 且小于履带牵引机 (10) 的速度。

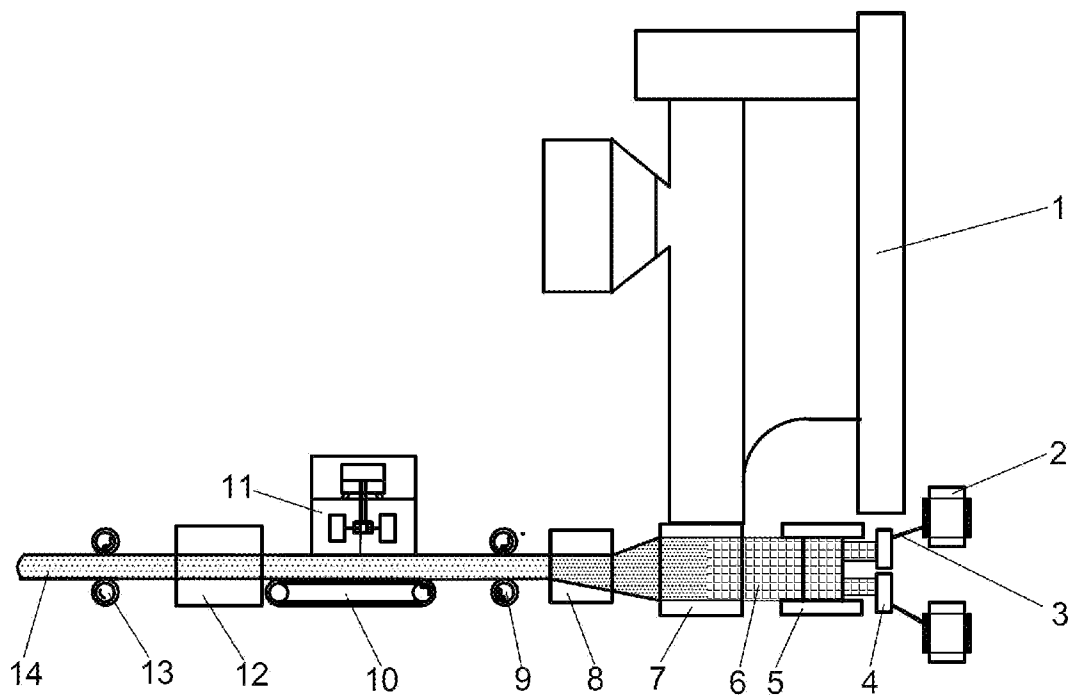


图 1

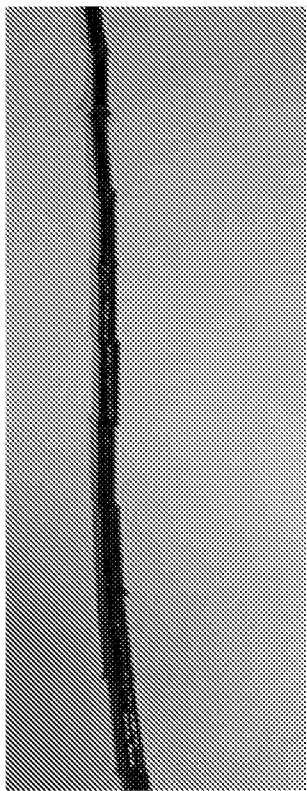


图 2

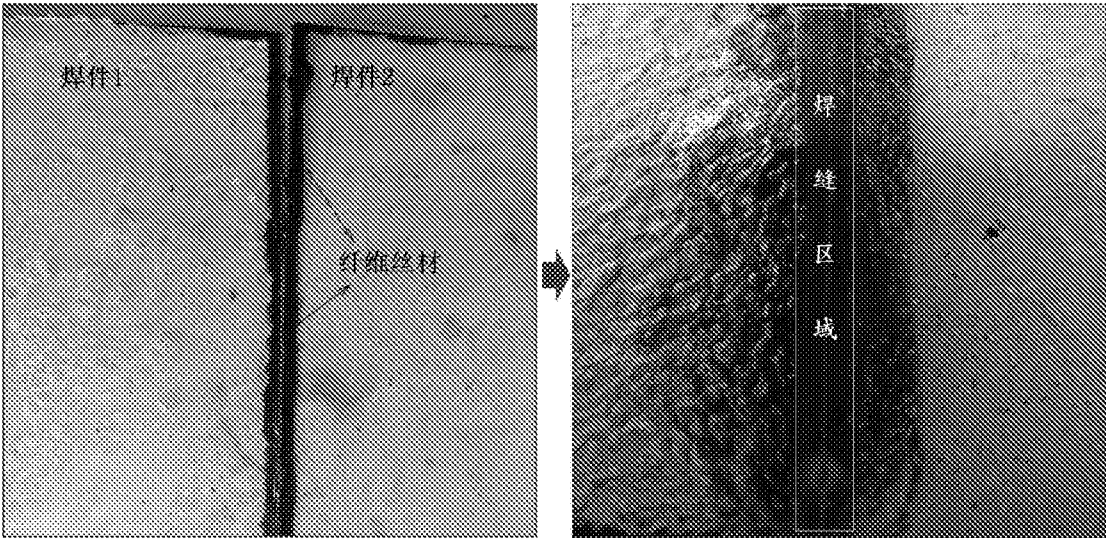


图 3

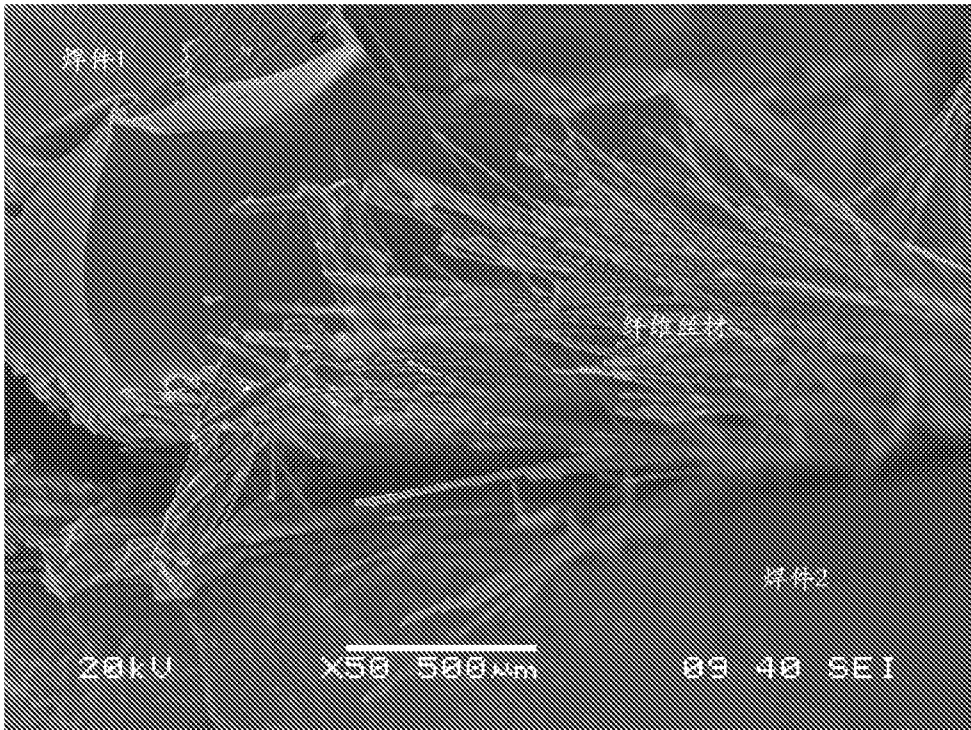


图 4

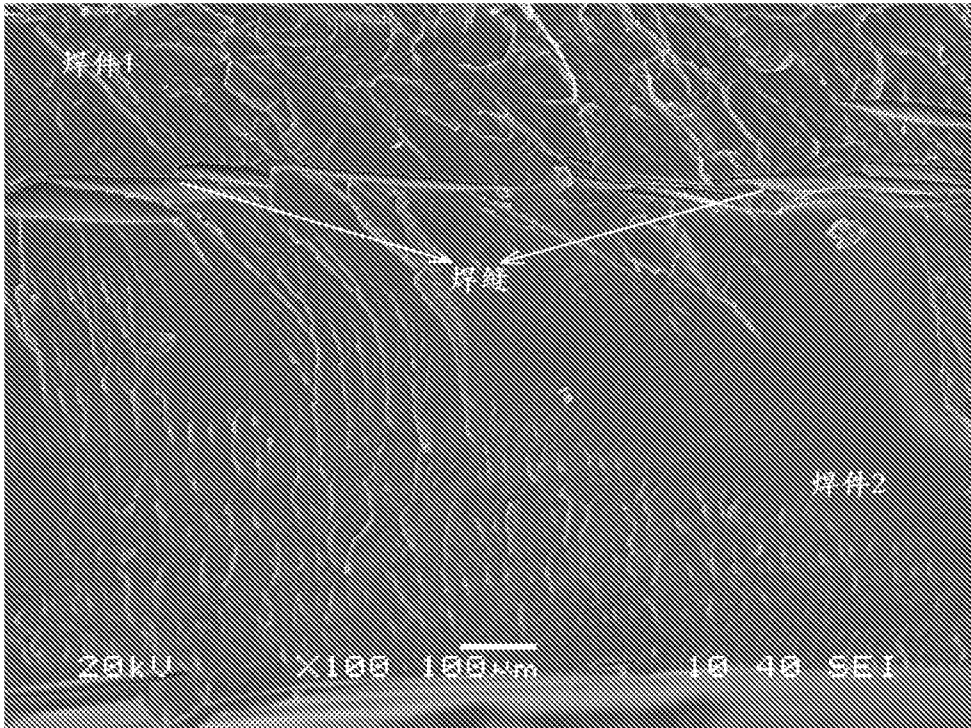


图 5

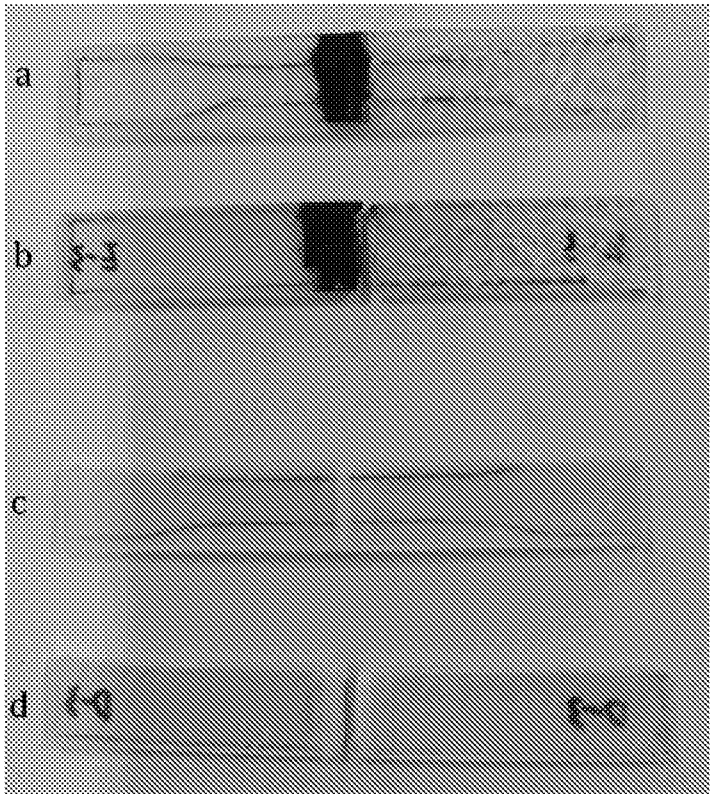


图 6



图 7

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2023/084343

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

B29D99/00(2010.01)i; B29C65/06(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC:B29D,B29C

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

CNKI, CNTXT, DWPI, ENTXT, ENTXTC, VEN: 搅拌摩擦焊, 纤维, fiber, friction, fsw, stir, weld, friction stir weld, join+

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	US 2019134918 A1 (UNIVERSITY OF SOUTH CAROLINA) 09 May 2019 (2019-05-09) abstract, claims 1-17, description, paragraphs [0016]-[0055], and figures 3-5	1-10
Y	US 2012328837 A1 (GOEHLICH ROBERT ALEXANDER et al.) 27 December 2012 (2012-12-27) claims 1-8 and figures 1-4	1-10
Y	CN 108724525 A (WUHAN HAIWEI SHIP AND OCEAN ENGINEERING TECHNOLOGY CO., LTD.) 02 November 2018 (2018-11-02) claims 1-10 and figure 1	1-10
Y	CN 108214980 A (EAST CHINA UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY) 29 June 2018 (2018-06-29) claims 1-18	1-10
A	CN 102218831 A (CHANGZHOU HONGFA ZONGHENG ADVANCED MATERIAL TECHNOLOGY CO., LTD.) 19 October 2011 (2011-10-19) entire document	1-10
A	CN 102319954 A (XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY) 18 January 2012 (2012-01-18) entire document	1-10



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

“D” document cited by the applicant in the international application

“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date

“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

“&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

25 October 2023

Date of mailing of the international search report

02 November 2023

Name and mailing address of the ISA/CN

China National Intellectual Property Administration (ISA/
CN)
China No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao, Haidian District,
Beijing 100088

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2023/084343

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	CN 106239937 A (DONGHUA UNIVERSITY) 21 December 2016 (2016-12-21) entire document	1-10
A	CN 112296505 A (SHENYANG AEROSPACE UNIVERSITY) 02 February 2021 (2021-02-02) entire document	1-10
A	CN 113927150 A (SHANGHAI AEROSPACE EQUIPMENTS MANUFACTURER CO., LTD.) 14 January 2022 (2022-01-14) entire document	1-10
A	CN 1948565 A (NANJING UNIVERSITY OF AERONAUTICS AND ASTRONAUTICS) 18 April 2007 (2007-04-18) entire document	1-10
A	EP 4159415 A1 (AIRBUS S.A.S.) 05 April 2023 (2023-04-05) entire document	1-10
A	JP 2007245200 A (NISSAN MOTOR CO., LTD.) 27 September 2007 (2007-09-27) entire document	1-10
A	JP 2015186869 A (TOYOTA MOTOR CORP.) 29 October 2015 (2015-10-29) entire document	1-10
A	US 2003042292 A1 (LOCKHEED CORP.) 06 March 2003 (2003-03-06) entire document	1-10
A	US 2008156411 A1 (GENERAL ELECTRIC COMPANY) 03 July 2008 (2008-07-03) entire document	1-10
A	US 2020307111 A1 (AIRBUS OPERATIONS GMBH) 01 October 2020 (2020-10-01) entire document	1-10

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/CN2023/084343

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
US	2019134918	A1	09 May 2019	WO	2017210504	A1	07 December 2017
				US	11001008	B2	11 May 2021
US	2012328837	A1	27 December 2012	US	2016221249	A1	04 August 2016
				US	9561617	B2	07 February 2017
				DE	102011078144	A1	27 December 2012
				EP	2540476	A1	02 January 2013
				EP	2540476	B1	29 August 2018
				US	9333703	B2	10 May 2016
CN	108724525	A	02 November 2018	None			
CN	108214980	A	29 June 2018	None			
CN	102218831	A	19 October 2011	None			
CN	102319954	A	18 January 2012	None			
CN	106239937	A	21 December 2016	None			
CN	112296505	A	02 February 2021	None			
CN	113927150	A	14 January 2022	None			
CN	1948565	A	18 April 2007	None			
EP	4159415	A1	05 April 2023	None			
JP	2007245200	A	27 September 2007	None			
JP	2015186869	A	29 October 2015	TW	201600314	A	01 January 2016
				TWI	650228	B	11 February 2019
				WO	2015145251	A1	01 October 2015
				JP	6020501	B2	02 November 2016
				EP	3122536	A1	01 February 2017
				EP	3122536	B1	03 March 2021
				US	2017129161	A1	11 May 2017
				US	10065362	B2	04 September 2018
US	2003042292	A1	06 March 2003	US	6543671	B2	08 April 2003
US	2008156411	A1	03 July 2008	EP	1941987	A1	09 July 2008
				US	7507310	B2	24 March 2009
				JP	2008162280	A	17 July 2008
				JP	5307390	B2	02 October 2013
				US	2009098369	A1	16 April 2009
				US	7879421	B2	01 February 2011
US	2020307111	A1	01 October 2020	DE	102019107814	A1	01 October 2020
				US	11173670	B2	16 November 2021

A. 主题的分类 B29D99/00(2010.01)i; B29C65/06(2006.01)i 按照国际专利分类(IPC)或者同时按照国家分类和IPC两种分类		
B. 检索领域 检索的最低限度文献(标明分类系统和分类号) IPC:B29D,B29C 包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献 在国际检索时查阅的电子数据库(数据库的名称, 和使用的检索词(如使用)) CNKI,CNXTXT,DWPI,ENTXT,ENTXTC,VEN:搅拌摩擦焊,纤维,fiber,friction,fsw,stir,weld,friction stir weld,join+		
C. 相关文件		
类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求
Y	US 2019134918 A1 (UNIV SOUTH CAROLINA) 2019年5月9日 (2019 - 05 - 09) 说明书摘要, 权利要求1-17, 说明书第[0016]-[0055]段, 图3-5	1-10
Y	US 2012328837 A1 (GOEHLICH ROBERT ALEXANDER等) 2012年12月27日 (2012 - 12 - 27) 权利要求1-8, 图1-4	1-10
Y	CN 108724525 A (武汉海威船舶与海洋工程科技有限公司) 2018年11月2日 (2018 - 11 - 02) 权利要求1-10, 图1	1-10
Y	CN 108214980 A (华东理工大学) 2018年6月29日 (2018 - 06 - 29) 权利要求1-18	1-10
A	CN 102218831 A (常州市宏发纵横新材料科技股份有限公司) 2011年10月19日 (2011 - 10 - 19) 全文	1-10
A	CN 102319954 A (西安交通大学) 2012年1月18日 (2012 - 01 - 18) 全文	1-10
☒ 其余文件在C栏的续页中列出。 ☒ 见同族专利附件。		
★ 引用文件的具体类型: “A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件 “D” 申请人在国际申请中引证的文件 “E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利 “L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件(如具体说明的) “O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件 “P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件 “T” 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件 “X” 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性 “Y” 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性 “&” 同族专利的文件		
国际检索实际完成的日期 2023年10月25日		国际检索报告邮寄日期 2023年11月2日
ISA/CN的名称和邮寄地址 中国国家知识产权局 中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088		授权官员 杨建勇 电话号码 (+86) 62084979

C. 相关文件		
类 型*	引用文件，必要时，指明相关段落	相关的权利要求
A	CN 106239937 A (东华大学) 2016年12月21日 (2016 - 12 - 21) 全文	1-10
A	CN 112296505 A (沈阳航空航天大学) 2021年2月2日 (2021 - 02 - 02) 全文	1-10
A	CN 113927150 A (上海航天设备制造总厂有限公司) 2022年1月14日 (2022 - 01 - 14) 全文	1-10
A	CN 1948565 A (南京航空航天大学) 2007年4月18日 (2007 - 04 - 18) 全文	1-10
A	EP 4159415 A1 (AIRBUS SAS) 2023年4月5日 (2023 - 04 - 05) 全文	1-10
A	JP 2007245200 A (NISSAN MOTOR) 2007年9月27日 (2007 - 09 - 27) 全文	1-10
A	JP 2015186869 A (TOYOTA MOTOR CORP) 2015年10月29日 (2015 - 10 - 29) 全文	1-10
A	US 2003042292 A1 (LOCKHEED CORP) 2003年3月6日 (2003 - 03 - 06) 全文	1-10
A	US 2008156411 A1 (GEN ELECTRIC) 2008年7月3日 (2008 - 07 - 03) 全文	1-10
A	US 2020307111 A1 (AIRBUS OPERATIONS GMBH) 2020年10月1日 (2020 - 10 - 01) 全文	1-10

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2023/084343

检索报告引用的专利文件			公布日 (年/月/日)	同族专利			公布日 (年/月/日)
US	2019134918	A1	2019年5月9日	WO	2017210504	A1	2017年12月7日
				US	11001008	B2	2021年5月11日
US	2012328837	A1	2012年12月27日	US	2016221249	A1	2016年8月4日
				US	9561617	B2	2017年2月7日
				DE	102011078144	A1	2012年12月27日
				EP	2540476	A1	2013年1月2日
				EP	2540476	B1	2018年8月29日
				US	9333703	B2	2016年5月10日
CN	108724525	A	2018年11月2日	无			
CN	108214980	A	2018年6月29日	无			
CN	102218831	A	2011年10月19日	无			
CN	102319954	A	2012年1月18日	无			
CN	106239937	A	2016年12月21日	无			
CN	112296505	A	2021年2月2日	无			
CN	113927150	A	2022年1月14日	无			
CN	1948565	A	2007年4月18日	无			
EP	4159415	A1	2023年4月5日	无			
JP	2007245200	A	2007年9月27日	无			
JP	2015186869	A	2015年10月29日	TW	201600314	A	2016年1月1日
				TWI	650228	B	2019年2月11日
				WO	2015145251	A1	2015年10月1日
				JP	6020501	B2	2016年11月2日
				EP	3122536	A1	2017年2月1日
				EP	3122536	B1	2021年3月3日
				US	2017129161	A1	2017年5月11日
				US	10065362	B2	2018年9月4日
US	2003042292	A1	2003年3月6日	US	6543671	B2	2003年4月8日
US	2008156411	A1	2008年7月3日	EP	1941987	A1	2008年7月9日
				US	7507310	B2	2009年3月24日
				JP	2008162280	A	2008年7月17日
				JP	5307390	B2	2013年10月2日
				US	2009098369	A1	2009年4月16日
				US	7879421	B2	2011年2月1日
US	2020307111	A1	2020年10月1日	DE	102019107814	A1	2020年10月1日
				US	11173670	B2	2021年11月16日