(19)国家知识产权局

(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 115989332 B
(45)授权公告日 2024.06.14

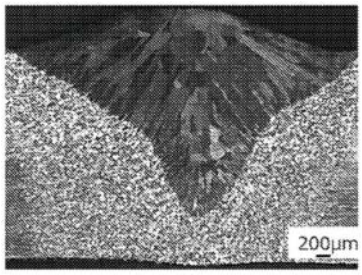
(21)申请号 202180051580.5
(22)申请日 2021.07.21
(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 115989332 A
(43)申请公布日 2023.04.18
(30)优先权数据
2020-139833 2020.08.21 JP
(85)PCT国际申请进入国家阶段日
2023.02.21
(86)PCT国际申请的申请数据
PCT/JP2021/027264 2021.07.21
(87)PCT国际申请的公布数据
WO2022/038954 JA 2022.02.24
(73)专利权人 日本轻金属株式会社
地址 日本东京都
(72)发明人 金木大志 邢勋 吉田谅 大和田安志
(74)专利代理机构 北京尚诚知识产权代理有限公司 11322
专利代理师 杨琦 陈明霞
(51)Int.Cl.
B23K 35/28(2006.01)
B23K 9/23(2006.01)
B23K 26/348(2006.01)
C22C 21/02(2006.01)
(56)对比文件
CN 107645978 A,2018.01.30
CN 108136547 A,2018.06.08
JP H01143792 A,1989.06.06
JP H05208296 A,1993.08.20
审查员 余守江
权利要求书1页 说明书8页 附图5页

(54)发明名称

铝合金焊料、铝合金制焊接结构体以及铝材的焊接方法

(57)摘要

本发明提供铝合金焊料、使用该铝合金焊料制造的铝合金制焊接结构体以及使用该铝合金焊料的铝材的接合方法，该铝合金焊料在铝合金的高速接合中，能够形成强度和韧性优异的接合部，并且不易产生焊接裂纹。本发明的高速接合用铝合金焊料的特征在于：其由含有能够降低熔融铝的表面张力的表面活性元素的铝构成，该表面活性元素为Ca、Sr和Ba中的至少任一种，表面活性元素的含量为0.05～0.50质量%。



CN 115989332 B

1.一种高速接合用铝合金焊料,其特征在于:

以JIS所规定的4043焊料为基础,添加降低熔融铝的表面张力的表面活性元素,

所述表面活性元素为Sr,

所述表面活性元素的含量为0.05~0.50质量%,

所述表面活性元素以外的元素的含量为作为所述4043焊料规定的组成的范围内。

2.一种混合激光焊接用铝合金焊料,其特征在于:

具有权利要求1所述的组成。

3.一种铝合金制焊接结构体,其特征在于:

所述铝合金制焊接结构体通过使用权利要求1所述的高速接合用铝合金焊料进行混合激光焊接而得到。

4.如权利要求3所述的铝合金制焊接结构体,其特征在于:

在焊接部的微细组织中,形成于所述焊接部的等轴晶粒的平均粒径为150μm以下。

5.一种铝材的焊接方法,其特征在于:

使用权利要求1所述的高速接合用铝合金焊料进行焊接。

6.如权利要求5所述的铝材的焊接方法,其特征在于:

使用混合激光焊接。

7.如权利要求5或6所述的铝材的焊接方法,其特征在于:

将焊接速度设为1m/min以上。

铝合金焊料、铝合金制焊接结构体以及铝材的焊接方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种能够用于电弧焊接等熔融焊接的铝合金焊料、使用该铝合金焊料制造的铝合金制焊接结构体以及使用了该铝合金焊料的铝材的焊接方法,特别涉及适用于焊接速度快的焊接的铝合金焊料。

背景技术

[0002] 铝材的焊接所使用的焊料需要考虑在与母材的组合下焊接时的裂纹的发生程度、机械性质、耐蚀性以及高温特性等。具体方针如JIS Z3604所示,根据用途,使用由4000系、5000系和6000系等铝合金构成的焊料。

[0003] 例如,在由4000系铝合金构成的焊料中,存在以Al和5质量%的Si为标准组成的4043、和以Al和12质量%的Si为标准组成的4047两种焊料,4043由于对焊接金属的高温裂纹的阻抗大,因此用于容易发生焊接裂纹的铝合金或铸件的焊接。

[0004] 然而,在4000系的焊料中,存在焊接部的强度和韧性变低的倾向,需要通过使焊接电流、焊接电压和焊接速度等焊接条件最佳化来实现接头强度的提高,但仅仅使该焊接条件最佳化是有限的,对于要求高强度和优异的韧性的焊接部,存在不实用的问题。

[0005] 对此,例如在专利文献1(日本特开2006-218491号公报)中,为了提供能够适用于MIG焊接、能够得到接头强度高、具有韧性高的焊接部的铝合金材料的焊接接头的铝或铝合金用焊料,公开了一种铝合金用焊接材料,其特征在于:以质量比计含有4.5～13.0%的Si以及10～400ppm的Sr,剩余部分由Al和不可避免的杂质构成。

[0006] 在上述专利文献1所记载的铝合金用焊接材料中,通过向Al-Si系焊接材料中添加微量的Sr,从而能够使由Al-Si系合金构成的焊接金属中结晶的共晶Si颗粒微细化,并能够形成具有高强度、高韧性的焊接接头。

[0007] 现有技术文献

[0008] 专利文献

[0009] 专利文献1:日本特开2006-218491号公报

发明内容

[0010] 发明想要解决的技术问题

[0011] 然而,近年来进一步要求提高生产率,迫切期望提高焊接速度,但增加焊接速度时,焊接部容易产生焊接裂纹,因此即使使用4000系的4043焊料,也无法充分抑制焊接裂纹。特别是在如混合激光焊接那样焊接速度超过1m/min的情况下,该倾向更显著。

[0012] 其中,实情是在上述专利文献1中研究的焊接速度为0.75m/min,能够形成具有优异的机械性质的接合部之上,即使如混合激光焊接那样高速进行焊接也不易产生焊接裂纹的焊料还不存在。

[0013] 鉴于以上那样的现有技术的问题点,本发明的目的在于:提供一种铝合金焊料、使用该铝合金焊料制造的铝合金制焊接结构体以及使用了该铝合金焊料的铝材的接合方法,

该铝合金焊料在铝合金的高速接合中,能够形成强度和韧性优异的接合部,并且不易产生焊接裂纹。更具体而言,本发明的目的在于:提供一种铝合金焊料和使用该铝合金焊料制造的铝合金制焊接结构体以及使用该铝合金焊料的铝材的焊接方法,该铝合金焊料即使进行焊接速度超过1m/min那样的高速接合,也不易产生焊接裂纹。

[0014] 用于解决技术问题的手段

[0015] 为了实现上述目的,本发明的发明人对铝合金焊料的组成以及该组成与焊接裂纹等的关系反复专门研究,结果发现含有适量的使熔融铝的表面张力降低的表面活性元素等是非常有效的,从而完成了本发明。

[0016] 即,本发明提供一种高速接合用铝合金焊料,其特征在于:

[0017] 其由含有使熔融铝的表面张力降低的表面活性元素的铝构成,

[0018] 上述表面活性元素为Ca、Sr和Ba中的至少任一种,

[0019] 上述表面活性元素的含量为0.05~0.50质量%。

[0020] 通过含有Ca、Sr和Ba中的至少任一种,能够降低熔融铝的表面张力,因熔融的焊料的润湿性的提高而流动性提高,即使进行高速接合,也能够抑制焊接裂纹。其中,Ca、Sr和Ba属于元素周期表的IIA族的4~6周期。

[0021] 为了抑制高速接合时的焊接裂纹,表面活性元素的添加量非常重要,通过含有0.05~0.50质量%的表面活性元素,从而能够有效地抑制焊接速度超过1m/min那样的高速接合时的焊接裂纹。该效果在焊接速度2m/min时显著,在4m/min时更加显著。

[0022] 在本发明的高速接合用铝合金焊料中,优选上述表面活性元素为Sr。通过添加Sr作为表面活性元素,与添加Ca的情况相比,能够更有效地降低熔融铝的表面张力。另外,通过添加Sr作为表面活性元素,与添加Ba的情况相比,能够有效地使共晶Si相发生粒状微细化,提高焊接部的延展性和韧性。

[0023] 另外,在本发明的高速接合用铝合金焊料中,优选还含有4~13质量%的Si。通过使Si的含量为4质量%以上,除了熔点充分降低以外,还能够确保接合时的熔融铝的流动性。另外,通过使Si的含量为13质量%以下,从而能够抑制因成为破坏起点的结晶物的形成而引起的接合部的伸长率的降低。

[0024] 另外,本发明也提供一种混合激光焊接用铝合金焊料,其特征在于:具有本发明的高速接合用铝合金焊料的组成。

[0025] 本发明的混合激光接合用铝合金焊料是在组合激光焊接和电弧焊接的接合工艺中使用的铝合金焊料。混合激光接合是在由先行的激光产生的阴极点诱导电弧进行焊接的接合技术,能够实现提高焊接的稳定性、抑制缺陷形成、增加接合速度和增加熔入深度等。

[0026] 其中,在混合激光接合中,有时设定5m/min以上的接合速度,即使在这样的高速接合条件下,通过使用本发明的混合激光接合用铝合金焊料,也能够非常有效地抑制焊接裂纹。

[0027] 另外,本发明也提供一种铝合金制焊接结构体,其特征在于:焊接部的Sr含量为0.03质量%以上。

[0028] 本发明的铝合金制焊接结构体可以通过使用本发明的高速接合用铝合金焊料对铝合金材料进行焊接而容易地得到。本发明的高速接合用铝合金焊料含有0.05~0.50质量%的Sr,该Sr存在于接合部,但接合部的最终Sr含量需要考虑作为被接合材料的铝合金

材料所产生的稀释等的影响。其中,在铝合金材料中含有Sr的情况下,也存在接合部的Sr含量多于高速接合用铝合金焊料的Sr含量的情况。

[0029] 另外,在本发明的铝合金制焊接结构体中,在上述焊接部的微细组织中,优选形成于上述焊接部的表面附近的等轴晶粒的平均粒径为150μm以下。通过使焊接部形成由微细等轴晶粒构成的组织,从而能够对焊接部赋予良好的机械性质(强度、延展性和可靠性等)。

[0030] 其中,通常从焊接部与母材(被接合材料)的边界向熔融池的凝固方向形成柱状晶,由该柱状晶连续地形成等轴状的微细组织。即,在最终凝固的焊接部的表面附近形成等轴晶粒。

[0031] 另外,本发明还提供一种铝材的焊接方法,其特征在于:使用本发明的高速接合用铝合金焊料进行焊接。在本发明的铝材的焊接方法中,优选使用混合激光焊接。

[0032] 另外,在本发明的铝材的焊接方法中,优选使焊接速度为1m/min以上。虽然增加焊接速度时难以抑制焊接部的焊接裂纹,但通过使用本发明的高速接合用铝合金焊料进行混合激光接合,从而能够非常有效地形成良好的焊接部。

[0033] 发明效果

[0034] 根据本发明,能够提供一种铝合金焊料、使用该铝合金焊料制造的铝合金制焊接结构体、以及使用了该铝合金焊料的铝材的焊接方法,该铝合金焊料在铝合金的高速接合中,能够形成强度和韧性优异的接合部,并且不易产生焊接裂纹。更具体而言,能够提供一种即使进行焊接速度超过1m/min那样的高速接合也不易产生焊接裂纹的铝合金焊料、使用该铝合金焊料制造的铝合金制焊接结构体、以及使用了该铝合金焊料的铝材的焊接方法。

附图说明

[0035] 图1是本发明的铝合金制焊接结构体的一个方式的焊接部附近的大致截面图。

[0036] 图2是焊接部4的微细组织的示意图。

[0037] 图3是可调拘束裂纹试验(Varestraint test)用夹具的外观照片。

[0038] 图4是可调拘束裂纹试验的示意图。

[0039] 图5是实施例所得到的焊道的外观照片。

[0040] 图6是由具有实施例2的组成的铝合金制焊线得到的焊道的纵截面照片。

[0041] 图7是图6的焊接部顶点的放大照片。

[0042] 图8是由具有实施例3的组成的铝合金制焊线得到的焊道的微细组织。

[0043] 图9是使用具有实施例2的组成的铝合金制焊线在不变形的状态下得到的焊道的纵截面照片。

[0044] 图10是图9的焊接部顶点的放大照片。

[0045] 图11是比较例所得到的焊道的外观照片。

[0046] 图12是由具有比较例1的组成的铝合金制焊线得到的焊道的微细组织。

[0047] 图13是由具有比较例1的组成的铝合金制焊线得到的焊道的纵截面照片。

[0048] 图14是图13的焊接部顶点的放大照片。

[0049] 符号说明:

[0050] 1……铝合金制结构体;2……铝合金材料;4……焊接部。

具体实施方式

[0051] 以下,参照附图,对关于本发明的铝合金焊料、铝合金制焊接结构体和铝材的焊接方法的代表性实施方式进行详细说明,但本发明并不只限定于这些实施方式。其中,在以下的说明中,对相同或相当部分标注相同符号,有时省略重复的说明。另外,附图是用于对本发明概念性地进行说明的图,因此所显示的各构成要素的尺寸和它们的比有时也与实际不同。

[0052] 1.铝合金焊料

[0053] 本发明的铝合金焊料是具有如下特征的高速接合用铝合金焊料:该铝合金焊料由包含降低熔融铝的表面张力的表面活性元素的铝构成,该表面活性元素为Ca、Sr和Ba中的至少任一种,表面活性元素的含量为0.05~0.50质量%。另外,该高速焊接用铝合金焊料能够适合作为混合激光焊接用铝合金焊料使用。以下,对各成分进行详细说明。

[0054] (1)必需的添加元素(表面活性元素)

[0055] Sr:0.05~0.50质量%

[0056] 通过含有0.05~0.50质量%的Sr,能够有效地抑制焊接速度超过1m/min那样的高速接合时的焊接裂纹。另外,从更有效地抑制焊接裂纹的观点考虑,Sr的含量优选为0.15质量%以上。

[0057] 另外,Sr是昂贵的,并且大量添加时有形成粗大化合物的可能性。并且,大量添加Sr时,在以高速进行焊接时容易卷入空气,容易形成气泡。从这些观点考虑,Sr的含量优选为0.30质量%以下,更优选为0.20质量%以下。

[0058] Ca:0.05~0.50质量%

[0059] 通过含有Ca,由于熔融铝的表面张力下降,润湿性提高,能够抑制高速接合时的焊接裂纹。另外,通过添加Ca,能够使共晶Si组织微细化,主要有助于伸长率。另一方面,过度含有时,结晶物粗大化,对韧性产生不良影响。

[0060] Ba:0.05~0.50质量%

[0061] 通过含有Ba,由于熔融铝的表面张力下降,润湿性提高,能够抑制高速接合时的焊接裂纹。另外,与Ca相比,其效果小,但过度含有时,结晶物粗大化,对韧性产生不良影响。

[0062] 其中,在同时添加Ca、Sr和Ba中的2种以上的情况下,通过使添加元素的合计的含量为0.05~0.50质量%,能够抑制高速接合时的焊接裂纹,并能够抑制粗大化合物或气泡的形成。

[0063] (2)任意的添加元素

[0064] 除了作为表面活性元素的Ca、Sr和Ba以外,只要不损害本发明的效果,没有特别限定,可以设为现有公知的各种铝焊料的组成。例如可以设为在4000系焊料、5000系焊料和6000系焊料的组成中添加了上述表面活性元素的组成。

[0065] 其中,如果考虑熔点和熔融金属的流动性,则优选使用4000系焊料的组成。还优选含有适量的Si。

[0066] Si:4~13质量%

[0067] 通过将Si的含量设为4质量%以上,除了熔点充分降低以外,还能够确保熔融铝在接合时的流动性。另外,通过将Si的含量设为13质量%以下,从而能够抑制由成为破坏起点的结晶物形成引起的接合部的伸长率的降低。

[0068] 只要不损害本发明的效果,本发明的铝合金制焊料的具体形态没有特别限定,可以做成现有公知的各种焊料的形态。例如,可以为棒状、连续的线状、粉末状和粒状等。

[0069] 2.铝合金制焊接结构体

[0070] 本发明的铝合金制焊接结构体是特征在于焊接部的Sr含量为0.03质量%以上的铝合金制焊接结构体。将本发明的铝合金制焊接结构体的一个方式中的焊接部附近的大致截面图示于图1。

[0071] 图1示出相对于焊线垂直的横截面,铝合金制结构体1成为铝合金材料2彼此被焊接部4接合的结构。焊接部4的Sr含量为0.03质量%以上。焊接部4的Sr含量优选为0.05质量%以上,更优选为0.10质量%以上。测定焊接部4的Sr含量的方法没有特别限定,可以利用现有公知的各种测定方法。例如,可以根据由焊接截面积求得的稀释率算出,或者利用SEM-EDS测定、EPMA测定和发光分光分析等。

[0072] 只要不损害本发明的效果,焊接部4的Sr以外的组成没有特别限定,能够设为现有公知的各种铝焊料的组成。例如可以设为在4000系焊料、5000系焊料和6000系焊料的组成上添加了0.03质量%以上的Sr的组成。

[0073] 只要不损害本发明的效果,焊接部4的形状和大小没有特别限定,只要根据铝合金材料2的形状和大小、所希望的接合部特性适当调整即可。焊接部4优选形成于被接合界面的全部区域,在对接头的机械性质的要求不高的情况下,也可以部分地形成。

[0074] 将图1的焊接部4的微细组织示意性地示于图2。从与未熔融的铝合金材料2的边界沿凝固方向形成由柱状晶构成的组织,随着凝固的进行形成由等轴状的晶粒构成的组织。其中,优选形成于焊接部4的表面附近(最终凝固侧)的等轴晶粒的平均粒径为150μm以下。通过在焊接部4形成由微细等轴晶粒构成的组织,从而能够对焊接部4赋予良好的机械性质(强度、延展性以及可靠性等)。

[0075] 求出形成于焊接部4的表面附近的等轴晶粒的平均粒径的方法没有特别限定,例如可以通过使用包含焊接部4的截面照片的交点法求出。具体而言,在截面照片上画任意长度的直线,对晶粒与该直线的交点进行计数后,将直线的长度除以交点数得到的值作为平均粒径。在这种情况下,优选以交点数为100以上的方式画直线。

[0076] 只要不损害本发明的效果,铝合金材料2的组成、尺寸和形状没有特别限定,可以使用具有现有公知的各种组成、尺寸和形状的铝合金材料。

[0077] 铝合金制结构体1只要具有铝合金材料2彼此被焊接部4接合的结构即可,也可以具有由铝合金以外的材质构成的区域。例如,可以将铝合金材料2与钢材、镁合金材料和钛合金材料等接合。

[0078] 3.铝材的焊接方法(铝合金制焊接结构体的制造方法)

[0079] 关于本发明的铝材的焊接方法,以制造铝合金制结构体1的情况为例进行说明。铝合金制结构体1可以通过使用本发明的高速接合用铝合金焊料将铝合金材料2彼此焊接而容易地制造。只要不损害本发明的效果,焊接方法没有特别限定,可以使用现有公知的焊接方法。

[0080] 本发明的铝材的焊接方法的特征在于:使用本发明的高速接合用铝合金焊料进行混合激光焊接。通过使用本发明的高速接合用铝合金焊料,即使在使焊接速度变快的情况下,也能够抑制焊接裂纹。

[0081] 焊接优选使用混合激光焊接。通过使用混合激光焊接,能够实现提高焊接的稳定性、抑制缺陷形成、增加接合速度和增加熔入深度等。另外,由于使用本发明的高速接合用铝合金焊料,即使增加接合速度,也能够抑制焊接裂纹,并能够充分享受混合激光焊接的优势。

[0082] 另外,通过使用本发明的高速接合用铝合金焊料,并且将焊接速度设为11m/min以上,从而能够使焊接部4的组织微细化。另外,通过将焊接速度设为5m/min以上,从而能够使形成于焊接部4的表面附近的等轴晶粒的平均粒径为150μm以下。

[0083] 在使焊接速度为5m/min以上的情况下,抑制焊接部4的焊接裂纹变得困难,但通过使用本发明的高速接合用铝合金焊料进行混合激光接合,从而能够非常有效地形成良好的焊接部4。

[0084] 以上,对本发明的代表性实施方式进行了说明,但本发明并不只限定于这些实施方式,能够进行各种设计变更,这些设计变更全部包含在本发明的技术范围内。

[0085] 实施例

[0086] 《实施例》

[0087] 以JIS Z 3604所规定的4043焊料为基础,添加Sr,得到表1所示的组成(质量%)的直径1.2mm的铝合金制焊线(焊料)。另外,使用该铝合金制焊线,通过混合激光焊接,利用堆焊(bead-on)对JIS-6063铝合金的板材进行焊接。混合激光焊接使用Fronius公司制造的混合激光焊接机,JIS-6063铝合金的板厚为3mm。另外,混合激光焊接使用了表2所示的焊接条件。

[0088] [表1]

[0089]

	Si	Fe	Ti	Sr	Al
实施例 1	5.3	0.17	<0.01	0.06	余量
实施例 2	5.3	0.18	<0.01	0.16	余量
实施例 3	5.4	0.17	<0.01	0.32	余量
比较例 1	5.3	0.17	<0.01	<0.001	余量
比较例 2	5.3	0.17	<0.01	0.03	余量

[0090] [表2]

[0091]

电弧			激光		
设定电流 (A)	弧长修正 (%)	电流模式	输出 (W)	前进角(度)	焊接速度(m/min)
160	-5	脉冲	2500	10	5

[0092] 在此,为了评价有关焊接裂纹的铝合金制焊线的特性,使用图3所示的试验夹具,进行了利用可调拘束裂纹试验的焊接。将可调拘束裂纹试验的示意图示于图4,在对被接合材料施加外部应力的状态下进行焊接,通过施加于焊接部的拉伸应力来促进焊接裂纹。可调拘束裂纹试验的弯曲半径为700mm。

[0093] 将通过混合激光焊接所形成的焊道(welding bead)的外观照片示于图5。根据可调拘束裂纹试验,在焊道的表面发生了沿焊接方向的焊接裂纹,通过着色探伤测定了该焊接裂纹的长度。

[0094] 将测定得到的焊接裂纹的长度作为裂纹长度相对于每100mm焊接长度的比率(裂

纹率)并示于表3。可知随着铝合金制焊线的Sr量的增加,裂纹率降低了。另外,根据由焊接截面积求得的稀释率,算出焊道的中心部的Sr量,将所得到的结果示于表3。在使用具有实施例2和实施例3的组成的铝合金制焊线的情况下,可知焊接部的Sr含量成为0.03质量%以上。

[0095] [表3]

[0096]

	裂纹率（%）	Sr 量（wt%）
实施例 1	67.2	0.012
实施例 2	47.8	0.032
实施例 3	28.4	0.064
比较例 1	84.2	0.000
比较例 2	83.5	0.006

[0097] 将由具有实施例2的组成的铝合金制焊线得到的焊道的截面照片示于图6。另外,将图6的焊接部顶点的放大照片示于图7。可知在焊接部顶点稍微发生了裂纹,但即使在可调拘束裂纹试验中,也抑制了裂纹的扩大或扩展。

[0098] 将由具有实施例3的组成的铝合金制焊线得到的焊道的微细组织(光学显微镜照片)示于图8。图8显示的是焊道宽度的中心处的与该焊道的长边方向平行的纵截面的观察结果。可知在未熔融的铝合金板的表面形成了焊接部(焊道),在铝合金板与焊接部的边界附近形成了由柱状晶构成的组织,在焊接部的表面附近形成了由等轴晶粒构成的组织。

[0099] 使用图8所示的组织照片,利用交点法算出接合部表面附近的等轴晶粒的平均粒径,结果为139μm。更具体而言,画2根10mm的线(示于图8),对与晶粒的交点进行计数,以“线的长度(20mm)/交点数”来算出。

[0100] 另外,使用具有实施例2的组成的铝制焊线,在不使JIS-6063铝合金板发生形变的状态下进行焊接(焊接条件与表2相同),通过着色探伤,在焊道中没有发现焊接裂纹。将该焊道的截面照片示于图9。另外,将图9的焊接部顶点的放大照片示于图10,没有发现裂纹的产生。

[0101] 《比较例》

[0102] 使铝合金制焊线(焊料)的组成成为表1所示的比较例1和比较例2,除此以外,与实施例同样操作,进行利用可调拘束裂纹试验的焊接。将所得到的焊道的外观照片示于图11。

[0103] 将焊道的裂纹率和焊道中心部的Sr量示于表3。可知与实施例所得到的焊道相比,在比较例所得到的焊道中产生了大量的焊接裂纹。另外,添加了少量Sr的情况(比较例2)与不添加Sr的情况(比较例1)相比,裂纹率变大了。该结果意味着Sr的添加所产生的焊接裂纹的抑制大大依赖于Sr的添加量。

[0104] 将由具有比较例1的组成的铝合金制焊线得到的焊道的微细组织(光学显微镜照片)示于图12。图12显示的是焊道宽度的中心处的与该焊道的长度方向平行的纵截面的观察结果。与实施例所得到的焊道同样,观察到由柱状晶构成的组织和由等轴晶粒构成的组织,但由柱状晶构成的组织的比例变大。

[0105] 另外,使用图12所示的照片,与实施例同样操作,算出接合部表面附近处的等轴晶粒的平均粒径,结果为174μm。可知由具有实施例3的组成的铝合金制焊线得到的焊接部中的等轴晶粒的平均粒径为139μm,接合部表面附近的等轴晶粒因Sr的添加而微细化。

[0106] 将由具有比较例1的组成的铝合金制焊线得到的焊道的截面照片示于图13。另外，将图13的焊接部顶点的放大照片示于图14，在焊接部顶点形成了深的裂纹。在使用具有实施例2的组成的铝制焊线的图9和图10中，全部没有发现裂纹，因此可知通过使用本发明的铝合金焊料，即使在高速接合中也能够非常有效地抑制焊接裂纹。

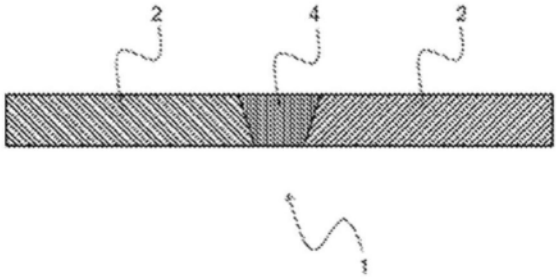


图1

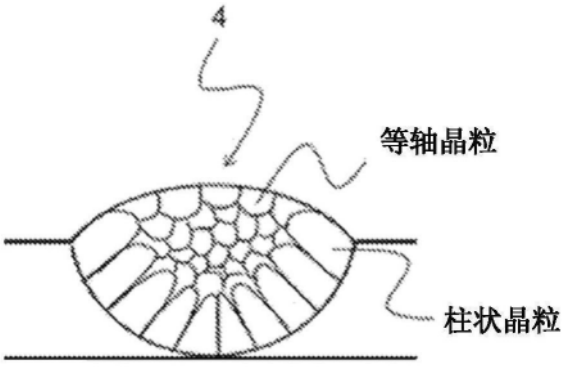


图2

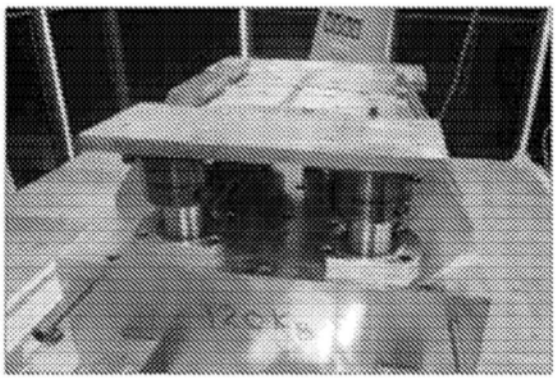


图3

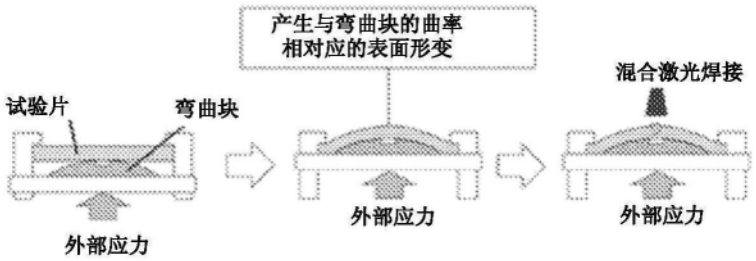

产生与弯曲块的曲率
相对应的表面形变
混合激光焊接
试验片
弯曲块
外部应力
外部应力
外部应力

图4

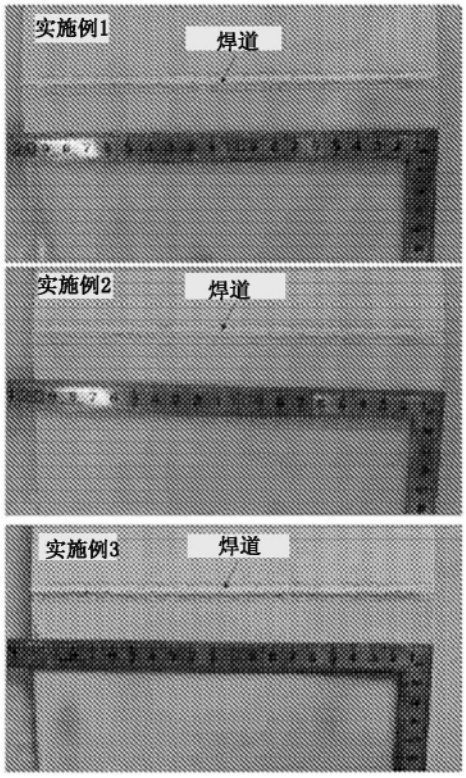

实施例1
焊道
实施例2
焊道
实施例3
焊道

图5

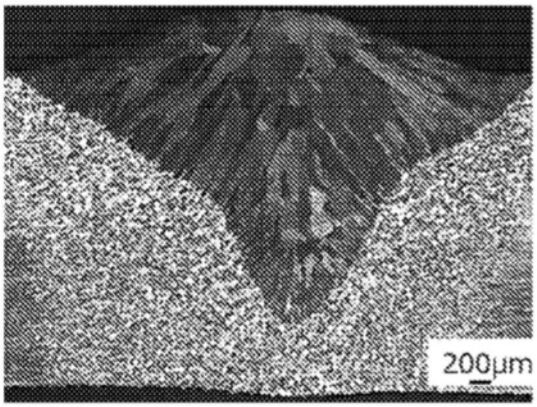


图6

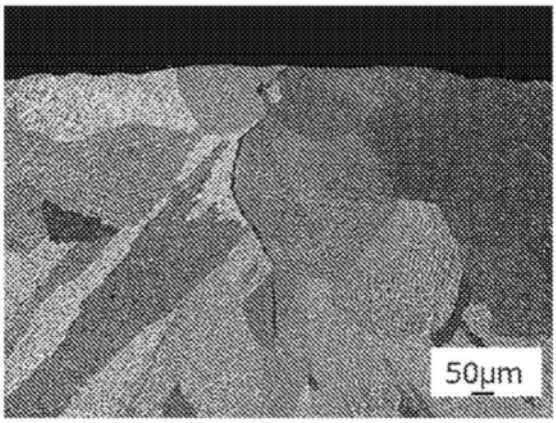


图7



图8

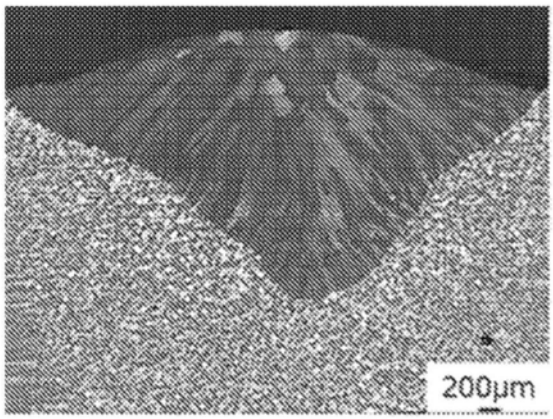


图9

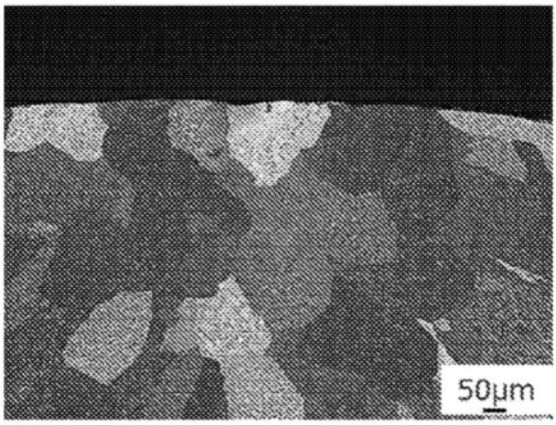


图10

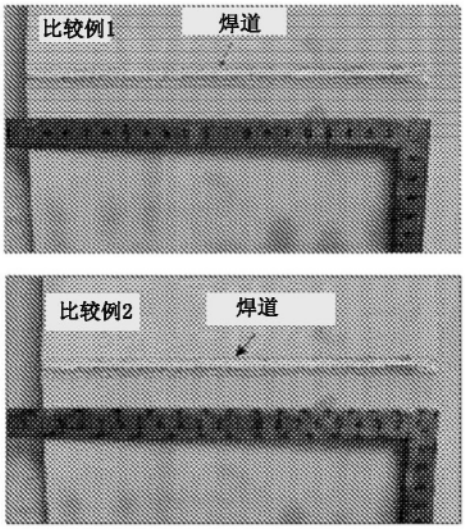


图11

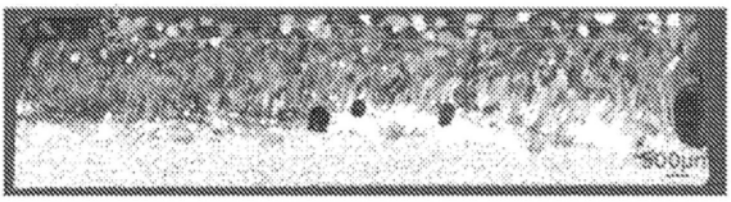


图12

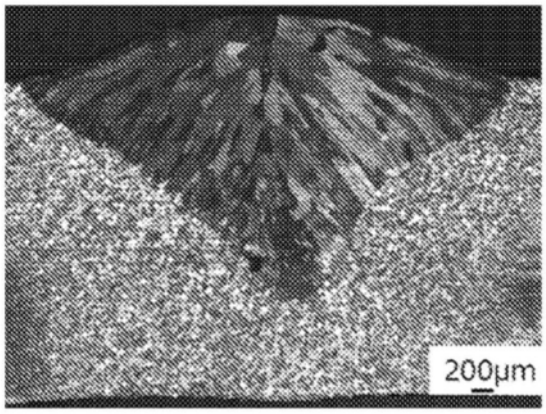


图13

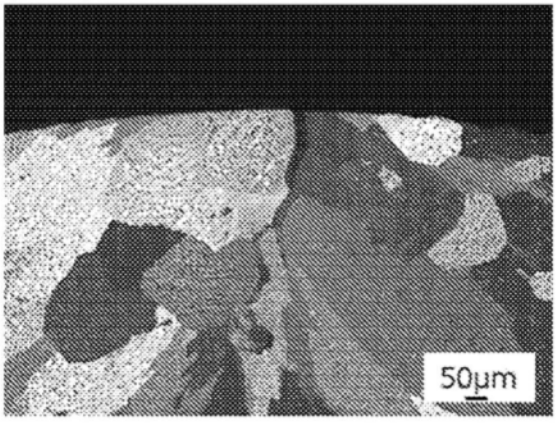


图14