



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 103501955 B

(45) 授权公告日 2016. 03. 16

(21) 申请号 201180070463. X
(22) 申请日 2011. 04. 28
(85) PCT国际申请进入国家阶段日
2013. 10. 28
(86) PCT国际申请的申请数据
PCT/JP2011/060805 2011. 04. 28
(87) PCT国际申请的公布数据
W02012/147213 JA 2012. 11. 01
(73) 专利权人 杰富意钢铁株式会社
地址 日本东京都
(72) 发明人 矢埜浩史 大井健次
(74) 专利代理机构 北京集佳知识产权代理有限公司 11227
代理人 金世煜 苗堃
(51) Int. Cl.
B23K 26/21(2014. 01)
B23P 23/04(2006. 01)
(56) 对比文件
JP 7-60470 A, 1995. 03. 07,
JP 9-24480 A, 1997. 01. 28,
JP 2010-240734 A, 2010. 10. 28,

CN 101850472 A, 2010. 10. 06,
CN 101817119 A, 2010. 09. 01,
CN 101412153 A, 2009. 04. 22,
JP 2010-167435 A, 2010. 08. 05,
JP 2009-178768 A, 2009. 08. 13,
JP 2003-340582 A, 2003. 12. 02,
JP 2000-317667 A, 2000. 11. 21,
JP 8-155665 A, 1996. 06. 18,
JP 8-90265 A, 1996. 04. 09,
JP 1-99789 A, 1989. 04. 18,

审查员 毛丹丹

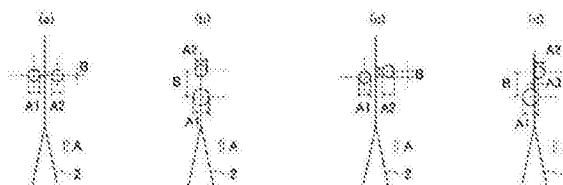
权利要求书1页 说明书9页 附图5页

(54) 发明名称

激光焊接钢管的制造方法

(57) 摘要

本发明提供激光焊接钢管的制造方法,在该方法中,使用开口管的钢板表面上的光斑直径在0.3mm以上的多支激光束,排列多支激光束,使其在钢板表面上的与焊接线垂直方向的光斑长度之和在0.5mm以上,并使焊接线方向的光斑中心间距离在5mm以内,由此进行焊接。



1. 激光焊接钢管的制造方法,在该制造方法中,用成形辊将钢板成形为圆筒状开口管,在用挤压辊对所述开口管边缘部加压的同时,从所述开口管外表面一侧照射激光束,将所述边缘部焊接,其中,使用在钢板表面上的光斑直径在 0.3mm 以上的多支激光束,将所述光斑排列,使钢板表面的与焊接线垂直方向的光斑长度之和在 0.5mm 以上,并使焊接线方向的光斑中心间距离在 5mm 以内,使所述激光束具有 $5 \sim 50^\circ$ 的前进角,在焊接线方向上配置后行光束,使后行光束的前进角小于先行光束的前进角,由此进行焊接。

2. 根据权利要求 1 所述的激光焊接钢管的制造方法,其特征在于,使所述开口管外表面上的所述各激光束的能量密度在 $70\text{kW}/\text{mm}^2$ 以下。

3. 根据权利要求 1 或 2 所述的激光焊接钢管的制造方法,其特征在于,以所述开口管的厚度为 T ,将所述各激光束的焦点位置配置在与所述开口管外表面相距 $3T \sim -3T$ 的范围内。

4. 根据权利要求 1 或 2 所述的激光焊接钢管的制造方法,其特征在于,使所述多支激光束的激光输出功率之和在 15kW 以上,并使焊接速度在 7m/ 分以上。

5. 根据权利要求 1 或 2 所述的激光焊接钢管的制造方法,其特征在于,所述开口管的厚度 T 超过 3mm。

6. 根据权利要求 1 或 2 所述的激光焊接钢管的制造方法,其特征在于,在用挤压辊对所述开口管边缘部加压时,将该边缘部压下 $0.3 \sim 1.0\text{mm}$ 。

7. 根据权利要求 3 所述的激光焊接钢管的制造方法,其特征在于,使所述多支激光束的激光输出功率之和在 15kW 以上,并使焊接速度在 7m/ 分以上。

8. 根据权利要求 3 所述的激光焊接钢管的制造方法,其特征在于,所述开口管的厚度 T 超过 3mm。

9. 根据权利要求 3 所述的激光焊接钢管的制造方法,其特征在于,在用挤压辊对所述开口管边缘部加压时,将该边缘部压下 $0.3 \sim 1.0\text{mm}$ 。

激光焊接钢管的制造方法

技术领域

[0001] 本发明涉及用激光束(laser beam)对开口管(open pipe)的长度方向边缘部(longitudinal edges)进行焊接的钢管(以下称激光焊接钢管(laser welded steel pipe))的制造方法,尤其涉及油井管(oil country tubular goods)或线管(line pipe)等适用于石油、天然气的采掘、运输的激光焊接钢管的制造方法。

背景技术

[0002] 作为油井管或线管使用的钢管大致可分为焊接钢管(welded steel pipe)(例如电阻焊钢管(electric resistance welded steel pipe),UOE 钢管等)和无缝钢管。这些钢管中,电阻焊钢管使用热轧的带状钢板(steel strip)(所谓的热轧钢卷(hot rolled steel coil))作为原材料,能够廉价地制造,因而在经济上有利。

[0003] 但是,通常,电阻焊钢管通过用成形辊将钢板成形为圆筒状、做成开口管(这里,开口管是指用多级成形辊成形的端部未接合的管状钢带)、对该开口管边缘部(即成形为圆筒状的钢带的两侧端部)边用挤压辊(squeeze roll)加压边进行电阻焊(electric resistance welding,也称高频电阻焊接)而制造,因此,必然存在焊接产生的接缝(所谓的焊缝(seam)),存在该焊缝的低温韧性(low-temperature toughness)劣化的问题。因此,电阻焊钢管的油井管、线管在寒冷地区(cold district)使用时存在问题。焊缝低温韧性劣化的原因在于,对边缘部进行焊接时,高温的熔融金属(molten metal)会与大气中的氧反应,生成氧化物(oxide),该氧化物容易残留在焊缝上。

[0004] 此外,在电阻焊钢管中,焊接边缘部时,熔融金属中容易出现合金元素(alloy element)偏析,因而存在焊缝的耐腐蚀性容易劣化的问题。因此,电阻焊钢管的油井管、线管在严酷的腐蚀环境(corrosion environment)(例如酸性环境(sour environment))中使用存在问题。

[0005] 另一方面,作为不使焊缝的低温韧性、耐腐蚀性劣化的焊接法,利用激光束的焊接(以下称激光焊接(laser welding))受到注目。激光焊接因热源(heat source)的尺寸小且能以高密度集中热能量(heat energy)而能够防止熔融金属中的氧化物生成和合金元素偏析。因此,若在焊接钢管的制造中应用激光焊接,则可以防止焊缝的低温韧性劣化和耐腐蚀性劣化。

[0006] 因此,在焊接钢管的制造过程中,通过向开口管边缘部照射激光束进行焊接从而制造钢管(即激光焊接钢管)的技术已经实用化。

[0007] 然而,在激光焊接中,由于是通过将属于高密度能量光束(high-energy density light beam)的激光用光学部件(optical component)聚光、照射到焊接部而进行焊接,因而,焊接时会伴随有急剧的金属熔融。这样,从形成的熔融池中会有熔融金属作为飞溅物(spatter)飞散。飞散的飞溅物会附着在焊接装置(welding equipment)上,使焊缝品质降低,还会附着在光学部件上,使焊接施工不稳定。此外,在激光焊接中,由于是以高密度集中热能量(heat energy)进行焊接,因而会产生大量飞溅物,出现咬边(undercut)、未焊满

(underfill) (即凹陷(depression))等焊接缺陷(welding defect)。发生未焊满时,焊接部的强度会下降。

[0008] 为此,人们对在激光焊接中防止飞溅物附着的技术和防止飞溅物产生的技术进行了各种研究。例如,通过降低激光输出功率(laser power)而防止飞溅物产生的技术、或者通过将焦点位置(focus position)大幅移位(所谓的散焦(defocus))而防止飞溅物产生的技术已经实用化。但是,降低激光输出功率、散焦不仅会导致焊接速度(welding speed)减小(即焊接效率(weld efficiency)降低),还存在容易产生未焊透(lack of penetration)的问题。

[0009] 专利文献 1 中公开了一种将激光束分光、生成多个激光束光斑(laser beam spots)、防止飞溅物产生的技术。但是,分散成多个光束光斑进行激光焊接的技术与降低激光输出功率进行焊接的技术一样,不仅会导致焊接效率降低,还存在容易产生未焊透的问题。而且,对激光束进行分光的棱镜(prism)价格高,焊接施工成本的上升不可避免。

[0010] 专利文献 2 中公开了一种在进行激光焊接时使用填丝(filler wire)防止熔敷金属(deposit metal)不足(未焊满)的技术。但是,在该技术中,焊接金属(weld metal)的组成会因填丝成分而改变。因此,必须根据开口管的成分选择填丝,填丝的库存管理(stock management)、激光焊接的操作管理(production control)的负担增大。

[0011] 专利文献 3 中公开了一种通过将激光焊接与电弧焊接(arc welding)复合、进行使用以防止焊接缺陷的技术。但是,在该技术中,焊接装置的构造复杂,不仅维护(maintenance)负担增大,而且,焊接的操作管理负担也增大。

[0012] 专利文献:

[0013] 专利文献 1:日本特开平 7-214361 号公报

[0014] 专利文献 2:日本特开 2004-330299 号公报

[0015] 专利文献 3:日本特开 2004-223543 号公报

发明内容

[0016] 本发明旨在提供这样一种激光焊接钢管的制造方法,即,在制造激光焊接钢管时,适宜地排列通过照射多支激光束而加热熔融的多个部位(即光斑),并适宜地维持在开口管上表面(钢板表面)上的光斑直径和光斑长度,控制开口管外表面上的能量密度,由此防止咬边和未焊满,并以高成品率(yield ratio)高效制造激光焊接钢管。

[0017] 本发明者就对开口管边缘部实施激光焊接、制造激光焊接钢管时使激光焊接的焊接现象(welding phenomenon)稳定化的技术(stabilization technology)进行了研究。

[0018] 图 1 是示意性地显示在制造激光焊接钢管时用 1 支激光束将开口管 1 的边缘部 2 的接合点焊接的以往例子的斜视图。图 1 中的箭头 A 表示开口管的行进方向(traveling direction)。另以透视图显示通过激光束 3 的照射而产生的深空洞(cavity) (以下称小孔(keyhole)) 4 和在其周边形成的熔融金属 5。照射激光束 3 时,如图 1 所示,边缘部 2 会因以高密度集中的热能量而熔融,并且,由于该熔融金属 5 蒸发所产生的蒸发压力(evaporating pressure)和蒸发反作用力(reaction force),熔融金属 5 中会产生小孔 4。据认为,小孔 4 内部充满了因激光束 3 侵入、金属蒸汽(metal vapour)被激光束 3 的能量电离而产生的高温等离子体(plasma)。

[0019] 该小孔 4 示出激光束 3 的热能量最收敛的位置。通过将边缘部的接合点配置在小孔 4 内,能稳定地制造激光焊接钢管。但是,要使边缘部 2 的接合点与小孔 4 一致,需要高精度的位置控制技术。若边缘部 2 的加工状态和对接状态不稳定,则熔融金属 5 不稳定。其结果,飞溅物多发,咬边、未焊满等焊接缺陷容易发生。因此,调节照射到边缘部 2 的接合点上的激光束的能量密度。为此,适宜地维持激光束的光斑直径、光斑形状、光斑个数,或者改变激光束的焦点位置。此外,将激光束照射在偏离接合点的位置。

[0020] 这种光斑形态的调整是一种可以通过制作合适的聚光透镜(collection lens 或 focusing lens)、聚光镜(collection mirror 或 focusing mirror)而实现的技术。

[0021] 本发明是基于上述发现而作出的。

[0022] 即,本发明是一种激光焊接钢管的制造方法,在该方法中,用成形辊将钢板成形为圆筒状的开口管,在该开口管的边缘部用挤压辊进行加压的同时,从该开口管外表面一侧照射激光束,将边缘部焊接,其中,使用在开口管上表面(钢板表面)上的光斑直径在 0.3mm 以上的多支激光束,以使多支激光束在钢板表面上的与焊接线垂直方向的光斑直径(以下称光斑长度)之和在 0.5mm 以上、焊接线方向的光斑中心间距离在 5mm 以内的方式进行排列,由此进行焊接。

[0023] 在本发明的激光焊接钢管中,优选开口管外表面上的各激光束的能量密度在 $70\text{kW}/\text{mm}^2$ 以下。此外,将开口管的厚度设为 T,优选将焦点位置配置在距开口管外表面 $3T \sim 3T$ 内。此外,优选将多支激光束的激光输出功率设在合计 15kW 以上,将焊接速度设在 7m/分以上。优选赋予激光束以 $5 \sim 50^\circ$ 的前进角(将从与管表面垂直的方向到与焊接行进方向相反的方向之间的角度称为前进角)。优选开口管的厚度 T 超过 3mm。在用挤压辊对开口管的边缘部加压时,优选压下(upset) 0.3 ~ 1.0mm。

[0024] 此外,在焊接方向上配置后行光束时,优选使后行光束的前进角比先行光束的前进角小。

[0025] 根据本发明,在制造激光焊接钢管时,适宜地排列通过多支激光束照射进行加热熔融的多个部位(即光斑),并适宜地维持在开口管上表面(钢板表面)上的光斑直径、光斑长度,控制开口管外表面上的能量密度,由此能防止咬边、未焊满,并能以高的成品率(yield ratio)高效制造激光焊接钢管。所得的激光焊接钢管的焊缝低温韧性、耐腐蚀性优异,适用于在寒冷地区、腐蚀环境下使用的油井管、线管。

附图说明

[0026] 图 1 是示意性地显示对开口管边缘部的接合点进行焊接的以往例子的斜视图。

[0027] 图 2 是示意性地显示应用本发明、照射多支激光束的位置的平面图。

[0028] 图 3 是示意性地显示应用本发明、将开口管边缘部的接合点焊接的例子的斜视图。

[0029] 图 4 是显示各激光束在钢板表面上的与焊接线垂直方向的光斑长度之和、以及焊接线方向的光斑中心间距离的图。

[0030] 图 5 是示意性地显示本发明的激光束的前进角关系的图。

[0031] 图 6 是示意性地显示本发明的先行光束前进角与后行光束前进角的关系的图。

具体实施方式

[0032] 本发明中,用多支激光束制造激光焊接钢管。将使用 2 支激光束的例子示于图 3。图 3 中,在对开口管 1 的边缘部 2 用挤压辊(图中未示出)进行加压的同时,从开口管外表面一侧照射 2 支激光束 3。图 3 中的箭头 A 表示开口管 1 的行进方向。另外,通过激光束 3 的照射而产生的小孔 4 及在其周围形成的熔融金属 5 以透视图显示。

[0033] (1) 开口管上表面(钢板表面)中的激光束照射位置和边缘部位置

[0034] 将照射 2 支以上的激光束 3 的位置的例子以平面图示于图 2。图 2 中的箭头 A 表示开口管 1 的行进方向。

[0035] 图 2 (a) 显示照射 2 支激光束的位置,是将同样光斑直径的激光束 3-1、3-2 配置在边缘部 2 两侧的例子。图 3 是将该例子以斜视图显示的图。

[0036] 图 2 (b) 显示照射 3 支激光束的位置,是用光斑直径小的激光束 3-1 预热、将同样光斑直径的激光束 3-2、3-3 配置在边缘部 2 两侧的例子。

[0037] 图 2 (c) 显示照射 4 支激光束的位置,是将同样光斑直径的激光束 3-1、3-2、3-3、3-4 在边缘部 2 两侧各配置 2 支的例子。

[0038] 图 2 (d) 显示照射 2 支激光束的位置,是将光斑直径不同的激光束 3-1、3-2 配置在边缘部 2 两侧的例子。在该例子中,激光束 3-1 的光斑直径小,因而将激光束 3-1 配置在比激光束 3-2 更接近边缘部 2 的位置上。

[0039] 图 2 (e) 显示照射 2 支激光束的位置,是将激光束 3-1、3-2 沿边缘部配置的例子。在该例子中,激光束 3-2 的光斑直径小。

[0040] 使用多支激光束时的激光束的配置不局限于图 2 所示的例子,可根据目的适当配置。但是,若使用 5 支以上激光束,则焊接装置的结构会变得复杂,维护负担大。因此,优选使用 2 ~ 4 支激光束。

[0041] (2) 在开口管上表面(钢板表面)上的光斑直径

[0042] 使用多支激光束时,优选各激光束在开口管上表面(钢板表面)上的光斑直径在 0.3mm 以上。其原因在于,若光斑直径小于 0.3mm,则难以维持稳定的小孔。另外,在开口管上表面(钢板表面)上的光斑直径的上限为 1.0mm。

[0043] (3) 在开口管上表面(钢板表面)上的光斑长度和光斑中心间距离

[0044] 如图 4 所示,使用多支激光束,使各激光束在钢板表面的与焊接线垂直方向上的光斑长度之和在 0.5mm 以上,并使焊接线方向的光斑中心间距离在 5mm 以内。通过使光斑长度之和在 0.5mm 以上,可以比较容易地将接合点配置在熔融金属 5 内。此外,通过使光斑中心间距离在 5mm 以内,可以防止熔融金属 5 分离。这里,将与焊接线垂直方向上的光斑长度和光斑中心间距离的定义具体示于图 4。

[0045] (4) 激光束的能量密度

[0046] 优选开口管 1 的外表面上的各激光束 3 的能量密度在 $70\text{kW}/\text{mm}^2$ 以下。若仅对激光束 3 进行散焦,则焊透特性差,因此,将能量密度的下限值规定在 $1\text{kW}/\text{mm}^2$ 以上,防止焊透特性劣化。但是,若能量密度超过 $70\text{kW}/\text{mm}^2$,则从开口管 1 外表面产生的飞溅物的量会增加。另外,激光束 3 的能量密度通过控制激光输出功率和光斑直径进行调整。

[0047] (5) 从开口管上表面(钢板表面)到焦点位置之间的距离

[0048] 将从开口管上表面到焦点位置之间的距离设为 t (mm)、开口管钢板厚度设为 T

(mm),若从开口管上表面到焦点之间的距离 t 超过 $3 \times T$ (即从开口管上表面向上方上行 $3T$),则焦点位置过高,难以稳定地维持小孔。另一方面,若超过 $-3 \times T$ (即从开口管上表面向下方下行 $3T$),则焦点位置过深,容易从钢板背面(即开口管内表面)侧产生飞溅物,因此,优选将开口管上表面到焦点之间的距离设定在 $-3 \times T \sim 3 \times T$ 的范围内。另外,从小孔稳定性的角度考虑,优选使先行激光束 3a 的从钢板上表面到焦点之间的距离与后行激光束 3b 的从钢板上表面到焦点之间的距离一致。

[0049] (6) 开口管的厚度

[0050] 优选开口管 1 的厚度 T 超过 3mm。若厚度 T 在 3mm 以下,容易发生焊穿。

[0051] (7) 激光输出功率、焊接速度

[0052] 通常,激光输出功率越低,或者焊接速度越慢,激光焊接产生的飞溅物越少。但是,为抑制飞溅物的产生而调整激光输出功率或焊接速度,会导致激光焊接钢管的生产效率降低,且存在容易产生气孔(blow hole)的问题。因此,从提高生产效率和抑制气孔的角度考虑,优选将多支激光束 3 的激光输出功率设在合计 15kW 以上,并将焊接速度设在 7m/ 分以上。激光输出功率合计小于 15kW 时,焊接速度会降至 7m/ 分以下,因而生产效率低下,并产生气孔。

[0053] (8) 激光束的焦距

[0054] 优选各激光束 3 的焦距在 200mm 以上。焦距小于 200mm 时,焦点位置会在开口管 1 的边缘部 2 的 Z 轴方向(即激光束的光轴方向)上变动,从而导致激光焊接不稳定。

[0055] (9) 激光束的前进角

[0056] 如图 5 所示,优选照射激光束 3 的角度(以下称前进角)在 $5 \sim 50^\circ$ 的范围内。通过设置前进角、照射激光束 3,飞溅物的产生量减少。但是,前进角小于 5° 时得不到这样的效果。此外,超过 50° 也得到不这样的效果。更优选为 $15^\circ \sim 45^\circ$ 。此外,如图 6 所示,在焊接线方向上配置后行光束时,优选使后行光束的前进角比先行光束的前进角小。这里,先行光束是指在钢板下表面沿焊接线方向先行的光束。图 5 和图 6 中的箭头 A 表示开口管 1 的行进方向。

[0057] (10) 压下量

[0058] 由于很难完全防止激光焊接产生的飞溅物,因此,为了防止咬边、未焊满的发生,优选将边缘部 2 压下 $0.3 \sim 1.0\text{mm}$ 。压下量小于 0.3mm 时,不能防止咬边、未焊满。另一方面,超过 1.0mm 时,焊缝 6 的修整需要大量的时间。

[0059] (11) 边缘部的接合点

[0060] 只要是边缘部 2 的平均间隔通过挤压辊(图中未示出)而变窄、在 0.5mm 以下的地方,开口管 1 的行进方向 A 上的边缘部 2 的接合点可以在任何位置。

[0061] (12) 激光束振荡器

[0062] 本发明中使用的激光束振荡器(oscillator)可以使用各种形态的振荡器,适合使用将气体(例如 CO_2 (carbon dioxide gas)、氦-氖(helium-neon)、氩(argon)、氮(nitrogen)、碘(iodine)等)用作介质的气体激光器(gas laser)、以固体(例如,掺杂有稀土类元素的 YAG 等)为介质的固体激光器(solid laser)、用光纤(fiber)代替块材(bulk)作为激光介质(laser medium)的光纤激光器(fiber laser)、盘形激光器(disk laser)等。也可以使用半导体激光器(semiconductor laser)。

[0063] (13) 辅助热源

[0064] 也可以从开口管 1 的外表面一侧通过辅助热源(auxiliary heat source)进行加热。作为该辅助热源,只要是能对开口管 1 的外表面进行加热熔融的装置即可,对其结构无特殊限制。例如,适合使用采用燃烧器熔化法(burner melting method)、等离子体熔化法(plasma melting method)、TIG 熔化法(Tungsten Inert Gas melting method)、电子束熔化法(electron beam melting method)、激光熔化法(laser beam melting method)等的手段。

[0065] 但是,作为辅助热源,最优选使用电弧。作为电弧的发生源,使用能在抑制熔融金属 5 的焊穿(burn-through)的方向上施加电磁力(即由焊接电流的磁场产生的电磁力)的装置。例如,可以使用 TIG 焊接法、等离子体电弧焊接法等以往公知的技术。优选电弧的发生源与激光束一体配置。其理由在于,由此能将在产生电弧的焊接电流的周边出现的磁场的影响有效地施加在熔融金属 5 上。此外,更优选将电弧发生源配置在激光束 3 的前面。其理由在于,由此能除去边缘部 2 的水分和油分。

[0066] 使用电弧以外的辅助热源时,也优选将辅助热源与激光束 3 的振荡器一体配置。其理由在于,若不将辅助热源与激光器一体配置,则要得到辅助热源的效果,需要大量的热量,此外,抑制焊接缺陷(例如咬边等)会非常困难。此外,更优选将辅助热源配置在激光束 3 的振荡器的前面。其理由在于,由此能除去边缘部 2 的水分和油分。

[0067] 在本发明中,即使是材质厚的(例如厚度在 4mm 以上)开口管 1,无需用高频加热(high-frequency induction heating)等将边缘部 2 预热就可进行激光焊接。但是,如果对边缘部 2 进行预热,则能获得激光焊接钢管的生产效率提高等效果。

[0068] 如上所述,根据本发明,在通过具有大能量的激光焊接制造激光焊接钢管时,能抑制咬边、未焊满,并能在不降低焊接效率的情况下以良好的成品率得到品质良好的激光焊接钢管。所得激光焊接钢管的焊缝 6 的低温韧性、耐腐蚀性优异,适用于在寒冷地区、腐蚀环境下使用的油井管、线管。

[0069] 实施例

[0070] 将带状钢板用成形辊成形为圆筒状开口管,对该开口管的边缘部边用挤压辊加压边从该开口管外表面一侧照射激光束,制得激光焊接钢管。钢板成分如表 1 所示。

[0071] 在激光焊接中,使用 2 台 10kW 的光纤激光振荡器。其输出功率和焊接速度如表 2 所示。

[0072] 表 2 所示的发明例是满足本发明必要条件的例子。在发明例中,钢管 No. 10 是焊接速度不在本发明优选范围的例子,钢管 No. 11 是激光输出功率不在本发明优选范围的例子,钢管 No. 12 是压下量不在本发明优选范围的例子,钢管 No. 13 是能量密度不在本发明优选范围的例子。这些例子均满足本发明的必要条件,因而作为发明例。

[0073] 比较例中,钢管 No. 7 是光斑直径不在本发明范围的例子,钢管 No. 7、No. 8 是光斑长度不在本发明范围的例子,钢管 No. 9 是光斑中心间距离不在本发明范围的例子、钢管 No. 14、No. 15 是使用 1 支激光束的例子。

[0074] 对所得激光焊接钢管进行超声波探伤试验(ultrasonic inspection test),按 JISG0582 对焊缝进行探伤,检测了 20m。探伤结果示于表 2。表 2 中,按如下方法进行评价:相对于作为基准的 N5 内外面切槽(notch)的人工缺陷(artificial defect),将峰指示高

度在 10% 以下者评价为优(◎), 超过 10%、在 25% 以下者评价为良(○), 超过 25%、在 50% 以下者评价为中(△), 超过 50% 者评价为差(×)。

[0075] 由表 2 可知, 在发明例中, 超声波探伤结果为优(◎)、良(○)或中(△)。而且, 未发现由飞溅物产生导致的咬边、未焊满等焊接缺陷。另一方面, 在比较例中, 超声波探伤结果为差(×)。而且, 发现有咬边、未焊满等焊接缺陷。在发明例中, 钢管 No. 13 中也发现有些微的咬边、未焊满。

[0076] 根据本发明, 能以良好的成品率稳定地制造激光焊接钢管, 所得激光焊接钢管的焊缝的低温韧性、耐腐蚀性优异, 适用于在寒冷地区、腐蚀环境下使用的油井管、线管, 因而在产业上能发挥突出的效果。

[0077] 符号说明:

[0078] 1 开口管

[0079] 2 边缘部

[0080] 3 激光束

[0081] 4 小孔

[0082] 5 熔融金属

[0083] 6 焊缝

[0084] 表 1

钢种	成分（质量％）													备注
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Cu	Al	Ti	N	其余部分	
A	0.06	0.29	1.65	0.011	0.003	—	—	—	0.05	0.035	0.029	0.004	Fe 和不可避免的杂质	碳素钢
B	0.01	0.11	0.27	0.012	0.001	12.2	4.2	2	0.16	0.028	0.078	0.008	Fe 和不可避免的杂质	不锈钢

[0085] 表 2

[0086]

钢管 No	焊接钢管的尺寸		焊接条件											备注
	外径 (mm)	厚度 (mm)	焊接速度 (m/分)	激光输出功率 (kW)	光束 支数 (支)	光斑 直径 (mm)	与焊接线垂直方向 的光斑长度之和 (mm)	焊接线方向的 光斑中心间距离 (mm)	前进角 (°)	焦点 位置 (mm)	能量 密度 (kW/mm ²)	压下量 (mm)	超声波 探伤	
1 A	273	6.4	7	10kW×2台	2	0.32	0.64	0	10	3	24	0.5	○	发明例
2 B	273	6.4	7	10kW×2台	2	0.32	0.64	0	10	3	24	0.5	○	发明例
3 A	273	3.2	10	10kW×2台	2	0.50	0.50	1	先30 后15	2	37	0.3	◎	发明例
4 B	273	3.2	10	10kW×2台	2	0.50	0.50	2	先40 后15	2	37	0.3	◎	发明例
5 A	273	6.4	7	10kW×2台	2	0.26	0.52	1	5	3	28	1	○	发明例
6 B	273	3.2	10	8kW×2台	2	0.26	0.52	1	5	2	35	1	◎	发明例
7 A	273	6.4	7	10kW×2台	2	0.23	0.46	0	10	3	16	0.5	×	比较例
8 A	273	6.4	7	10kW×2台	2	0.40	0.48	0	10	3	24	0.5	×	比较例
9 B	273	6.4	7	10kW×2台	2	0.50	0.50	5.5	先30 后10	3	24	0.5	×	比较例
10 A	273	3.2	5	10kW×2台	2	0.32	0.74	0	15	2	37	0.3	△	发明例
11 A	273	3.2	10	7kW×2台	2	0.32	0.74	0	15	2	37	0.3	△	发明例
12 B	273	3.2	10	10kW×2台	2	0.32	0.74	0	15	2	37	0	△	发明例
13 B	273	3.2	10	10kW×2台	2	0.32	0.74	0	15	0	124	0.3	△	发明例
14 A	273	6.4	7	10kW×2台	1*	0.60	1.20	0	5	3	71	1	×	比较例
15 B	273	3.2	10	10kW×2台	1*	0.26	0.52	0	5	3	72	1	×	比较例

*: 用光学系将 2 支光束变成 1 支, 先: 先行光束, 后: 后行光束

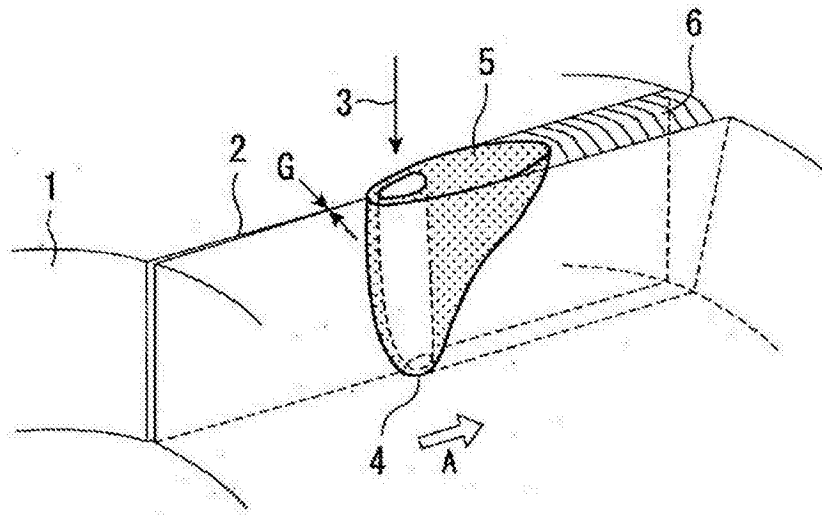


图 1

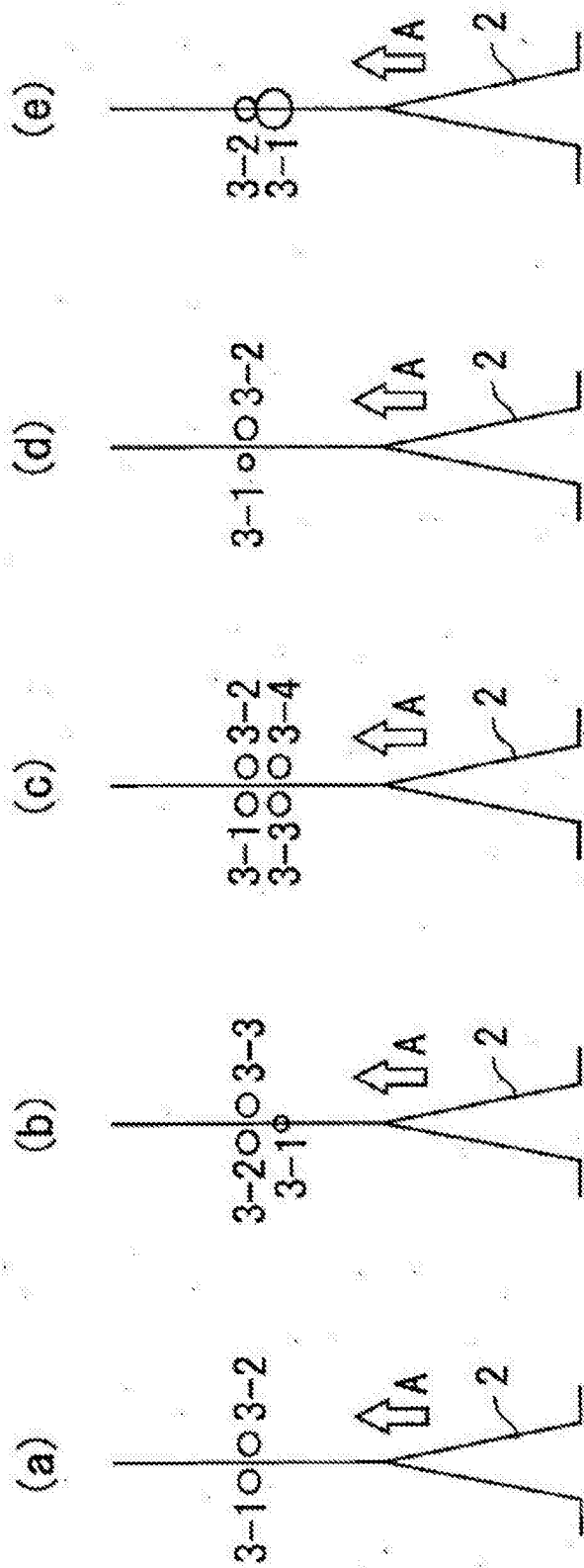


图 2

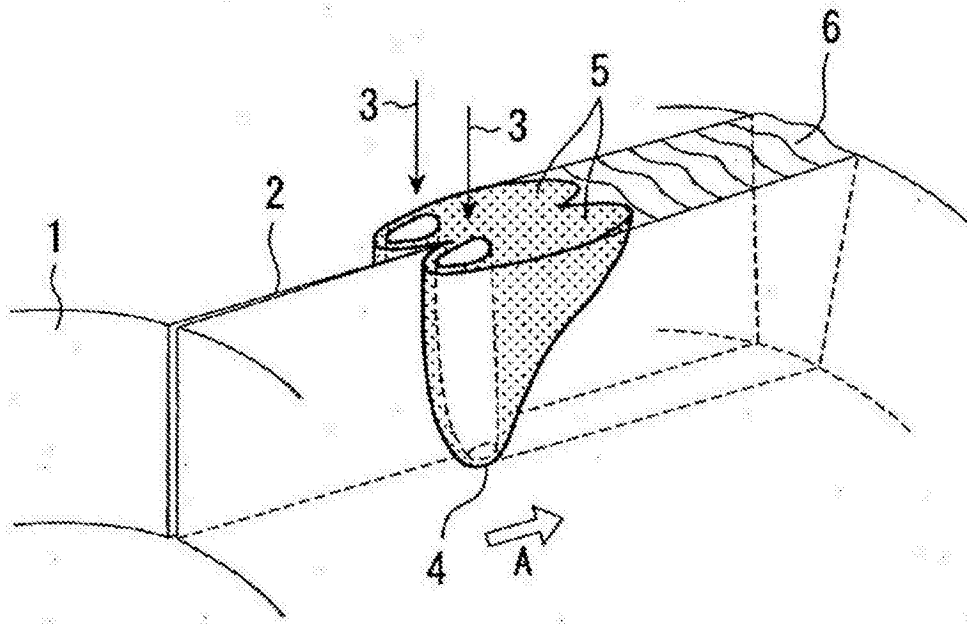


图 3

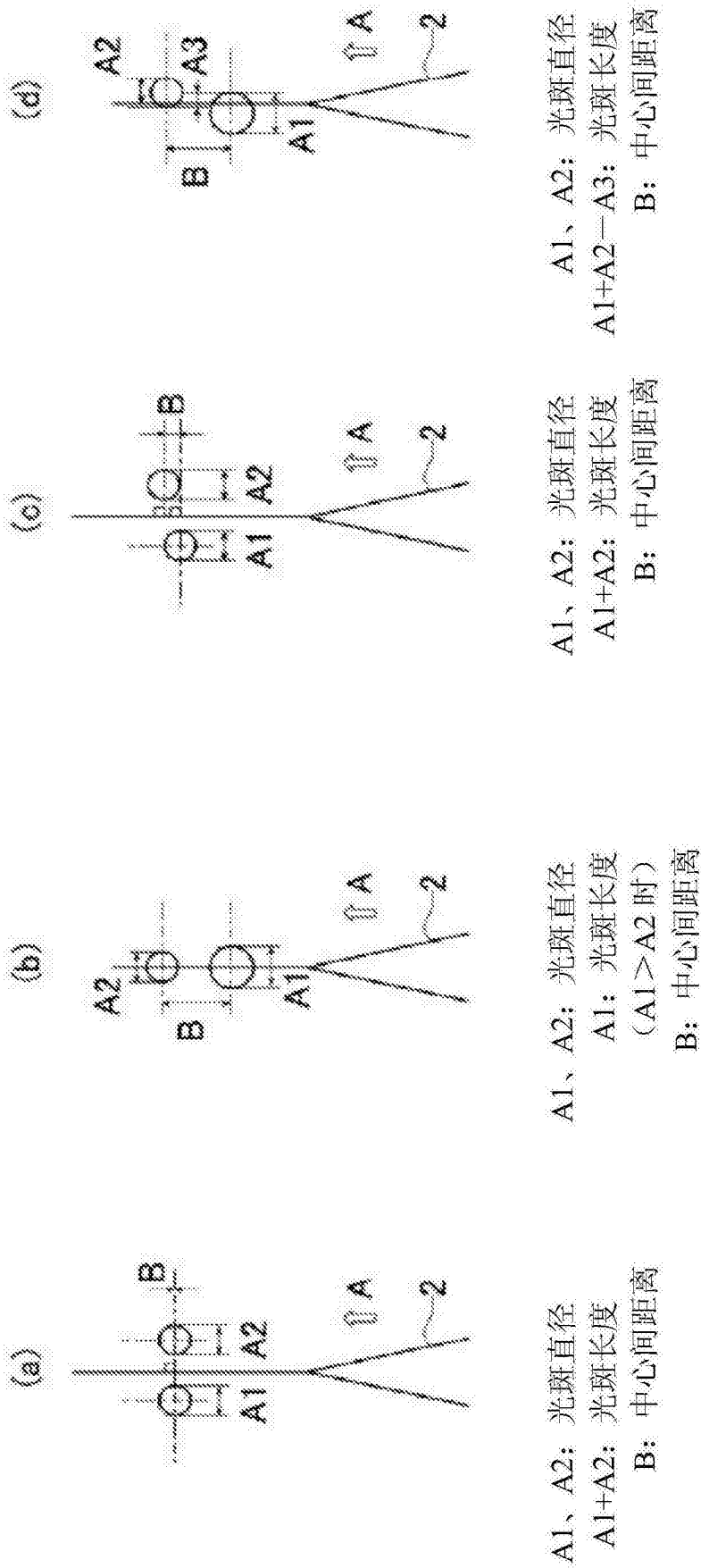


图 4

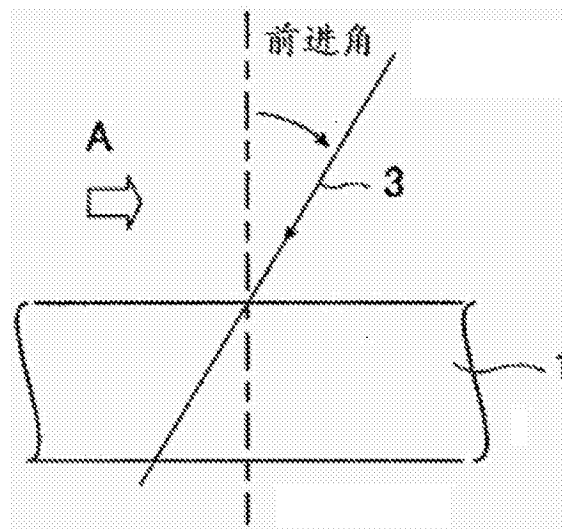


图 5

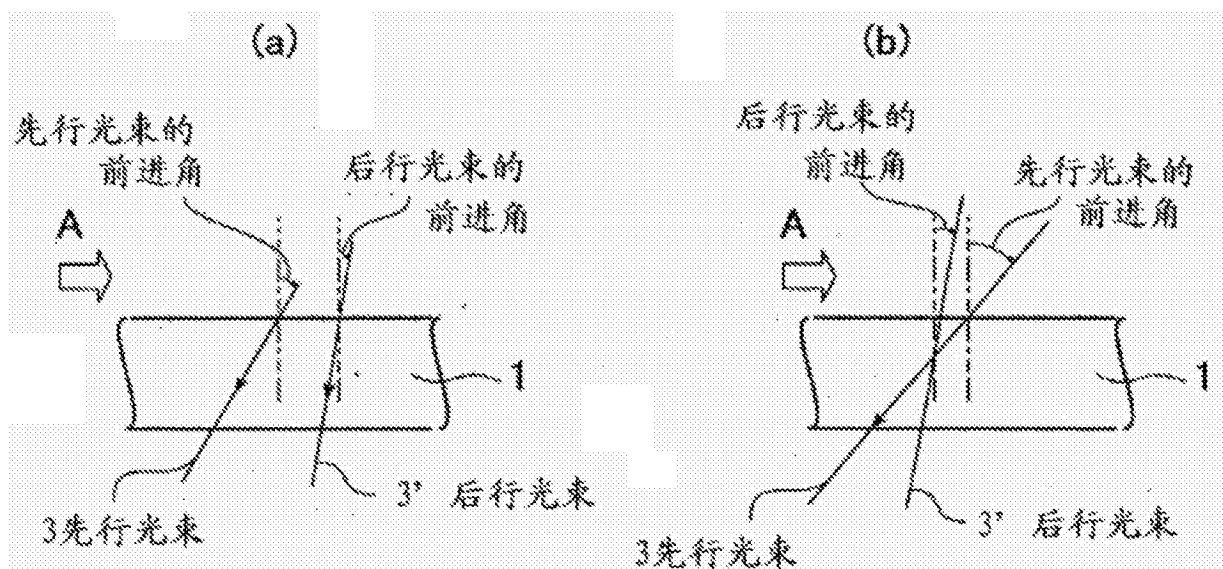


图 6