



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 112334265 B

(45) 授权公告日 2023. 02. 17

(21) 申请号 201980043078.2

(22) 申请日 2019.06.06

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 112334265 A

(43) 申请公布日 2021.02.05

(30) 优先权数据
2018-122414 2018.06.27 JP

(85) PCT国际申请进入国家阶段日
2020.12.25

(86) PCT国际申请的申请数据
PCT/JP2019/022446 2019.06.06

(87) PCT国际申请的公布数据
W02020/003950 JA 2020.01.02

(73) 专利权人 SMC株式会社

地址 日本东京都

(72) 发明人 奥平宏行 石川力也 只野琢也

(74) 专利代理机构 中国贸促会专利商标事务所
有限公司 11038

专利代理师 张智慧

(51) Int.Cl.

B23K 26/21 (2006.01)

B23K 31/00 (2006.01)

G22C 38/00 (2006.01)

G22C 38/44 (2006.01)

审查员 涂兵伟

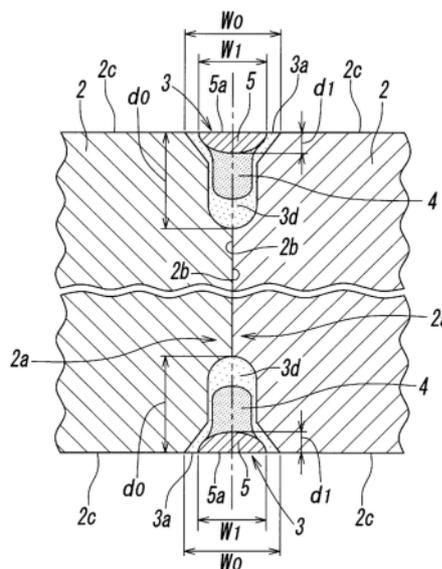
权利要求书1页 说明书11页 附图16页

(54) 发明名称

钢材的对焊接头及其制造方法

(57) 摘要

本发明提供具有优异的疲劳强度的钢材的对焊接头及其制造方法。以对接的一对钢材为母材(2、2)，具有横跨这些母材的焊接部(3)，母材的碳浓度为0.1质量%以上且0.35质量%以下，焊接部通过以小孔式焊接进行第一加热后以热传导焊接进行再加热而形成，具有：通过小孔式焊接使母材熔融·凝固的熔融凝固部(3d)；通过热传导焊接将熔融凝固部再加热，由此使熔融凝固部的组织发生变化的凝固再加热部(4)；通过相同的再加热使熔融凝固部进行再熔融·再凝固的再熔融凝固部(5)，熔融凝固部的宽度W₀及深度d₀和再熔融凝固部(5)的宽度W₁及深度d₁具有0.46W₀≦W₁、0.14d₀≦d₁≦0.73d₀的关系。



1. 钢材的对焊接头,以对接了端部的一对钢材为母材,具有从这些母材的表面向内部以横跨所述端部的方式形成的焊接部,其特征在于,

所述母材的碳浓度为0.1质量%以上且0.35质量%以下,

所述焊接部具有:熔融凝固部,其通过自所述表面的第一加热使所述一对母材的端部熔融并凝固而成;再熔融凝固部,其通过将所述熔融凝固部从其表面再加热,使该熔融凝固部再熔融并再凝固而成;和凝固再加热部,其形成于比该再熔融凝固部靠内部侧,通过所述再加热在不伴随熔融的情况下使所述熔融凝固部的组织发生变化而成,

所述熔融凝固部的宽度 W_0 、从所述焊接部的表面到该熔融凝固部的最深部的深度 d_0 、所述再熔融凝固部的宽度 W_1 和从所述焊接部的表面到该再熔融凝固部的最深部的深度 d_1 具有下述关系,

$$0.46 \leq W_1/W_0 \leq 0.95$$

$$0.14d_0 \leq d_1 \leq 0.73d_0。$$

2. 根据权利要求1所述的钢材的对焊接头,其特征在于,所述凝固再加热部的维氏硬度的平均值比所述再熔融凝固部的维氏硬度的平均值低。

3. 根据权利要求1所述的钢材的对焊接头,其特征在于,所述再熔融凝固部的表面的残余应力在其宽度方向的中心部成为压缩应力。

4. 根据权利要求1所述的钢材的对焊接头,其特征在于,在所述焊接部的周向的终端部,形成于所述再熔融凝固部的凹陷的距所述焊接部的表面的深度 h 和该再熔融凝固部的所述深度 d_1 具有下述关系,

$$0.32d_1 \geq h。$$

5. 根据权利要求1所述的钢材的对焊接头,其特征在于,所述熔融凝固部通过小孔式焊接形成,所述再熔融凝固部及凝固再加热部通过热传导焊接形成。

6. 钢材的对焊接头的制造方法,使由钢材构成的一对母材的端部彼此对接,从这些母材的表面向内部以横跨所述端部的方式形成焊接部,其特征在于,

所述母材的碳浓度为0.1质量%以上且0.35质量%以下,

所述焊接部通过第一步骤和第二步骤形成,

第一步骤中,通过自所述表面的第一加热使所述一对母材的端部熔融并凝固,由此形成熔融凝固部,

第二步骤中,通过将所述熔融凝固部从其表面进行再加热,使该熔融凝固部再熔融并再凝固,由此形成再熔融凝固部,并且在比该再熔融凝固部靠内部侧形成在不伴随熔融的情况下使所述熔融凝固部的组织发生变化而成的凝固再加热部,

此时,所述熔融凝固部的宽度 W_0 、从所述焊接部的表面到该熔融凝固部的最深部的深度 d_0 、所述再熔融凝固部的宽度 W_1 和从所述焊接部的表面到该再熔融凝固部的最深部的深度 d_1 具有下述关系,

$$0.46 \leq W_1/W_0 \leq 0.95$$

$$0.14d_0 \leq d_1 \leq 0.73d_0。$$

7. 根据权利要求6所述的的对焊接头的制造方法,其特征在于,在所述第一步骤中,通过小孔式焊接形成熔融凝固部,在所述第二步骤中,通过热传导焊接形成再熔融凝固部及凝固再加热部。

钢材的对焊接头及其制造方法

技术领域

[0001] 本发明涉及将钢材彼此焊接的钢材的对焊接头及其制造方法。

背景技术

[0002] 目前,在焊接被焊接材彼此的焊接接头中期望接头强度的改善,进行着用于改善该接头强度的各种尝试。例如,专利文献1中公开有一种T接头,通过使焊道的表面碎屑(表面屑)再熔融,使焊道的表面的形状平滑,而提高焊接部的疲劳强度。另外,专利文献2中公开有一种搭接接头,通过对金属板照射激光光线,对进行了熔融凝固的接合部的内侧进一步再照射激光光线,在接合部的熔融边界附近设置韧性优异的凝固再加热部,由此,提高接头部的十字拉伸强度。另外,专利文献3中公开了通过对焊接部的表面反复实施快速加热及快速冷却,使焊接部的结晶组织微细化,并改善疲劳强度不匀。另一方面,对于使紧固的钢材对接并焊接的对焊接头的疲劳强度,期望进一步的改善,但这种着眼于对焊接头的疲劳强度的改善的焊接结构及其制造方法尚不明确。

[0003] 现有技术文献

[0004] 专利文献

[0005] 专利文献1:日本特开昭59-110490号公报

[0006] 专利文献2:日本特开2017-52006号公报

[0007] 专利文献3:日本特开2002-256335号公报

发明内容

[0008] 发明所要解决的课题

[0009] 本发明的技术课题在于,提供具有优异的疲劳强度的钢材的对焊接头及其制造方法。

[0010] 用于解决课题的手段

[0011] 为了解决上述技术课题,本发明提供一种钢材的对焊接头,其以对接了端部的一对钢材为母材,具有从这些母材的表面向内部以横跨所述端部的方式形成的焊接部,其特征在于,所述母材的碳浓度为0.1质量%以上且0.35质量%以下,所述焊接部具有:熔融凝固部,其通过自所述表面的第一加热使所述一对母材的端部熔融并凝固而成;再熔融凝固部,其通过将所述熔融凝固部从其表面再加热,使该熔融凝固部再熔融并再凝固而成;和凝固再加热部,其形成于比该再熔融凝固部靠内部侧,通过所述再加热在不伴随熔融的情况下使所述熔融凝固部的组织发生变化而成,所述熔融凝固部的宽度 W_0 、从所述焊接部的表面到该熔融凝固部的最深部的深度 d_0 、所述再熔融凝固部的宽度 W_1 和从所述焊接部的表面到该再熔融凝固部的最深部的深度 d_1 具有下述关系,

[0012] $0.46W_0 \leq W_1$

[0013] $0.14d_0 \leq d_1 \leq 0.73d_0$ 。

[0014] 此时,优选所述凝固再加热部的维氏硬度的平均值比所述再熔融凝固部的维氏硬

度的平均值低。

[0015] 另外,优选所述再熔融凝固部的表面的残余应力在其宽度方向的中心部成为压缩应力。

[0016] 而且,优选在所述焊接部的周向的终端部,形成于所述再熔融凝固部的凹陷的距所述焊接部的表面的深度h和该再熔融凝固部的所述深度d1具有下述关系,

[0017] $0.32d1 \geq h$ 。

[0018] 此外,本发明中,优选所述熔融凝固部通过小孔式焊接形成,所述再熔融凝固部及凝固再加热部通过热传导焊接形成。

[0019] 另外,本发明的钢材的对焊接头能够通过钢材的对焊接头的制造方法来制造,该方法使由钢材构成的一对母材的端部彼此对接,从这些母材的表面向内部以横跨所述端部的方式形成焊接部,其特征在于,所述母材的碳浓度为0.1质量%以上且0.35质量%以下,所述焊接部通过第一步骤和第二步骤形成,第一步骤中,通过自所述表面的第一加热使所述一对母材的端部熔融并凝固,由此形成熔融凝固部,第二步骤中,通过将所述熔融凝固部从其表面进行再加热,使该熔融凝固部再熔融并再凝固,由此形成再熔融凝固部,并且在比该再熔融凝固部靠内部侧形成在不伴随熔融的情况下使所述熔融凝固部的组织发生变化的凝固再加热部,此时,所述熔融凝固部的宽度W0、从所述焊接部的表面到该熔融凝固部的最深部的深度d0、所述再熔融凝固部的宽度W1和从所述焊接部的表面到该再熔融凝固部的最深部的深度d1具有下述关系,

[0020] $0.46W0 \leq W1$

[0021] $0.14d0 \leq d1 \leq 0.73d0$ 。

[0022] 此时,优选在所述第一步骤中,通过小孔式焊接形成熔融凝固部,在所述第二步骤中,通过热传导焊接形成再熔融凝固部及凝固再加热部。

[0023] 发明效果

[0024] 根据本发明,能够得到具有比母材优异的疲劳强度的钢材的对焊接头。

附图说明

[0025] 图1是示意性地表示本发明的钢材的对焊接头的焊接部附近的图。

[0026] 图2是示意性地表示图1的焊接部的截面结构的图。

[0027] 图3(a)是示意性地表示进行小孔式焊接时的激光照射的图,(b)是示意性地表示进行热传导焊接时的激光照射的图。

[0028] 图4是示意性地表示通过对焊而焊接的试样的图。

[0029] 图5是示意性地表示在制作图4所示的试样时进行小孔式焊接的状态的截面图。

[0030] 图6是示意性地表示在制作图4所示的试样时进行热传导焊接的状态的截面图。

[0031] 图7是示意性地表示通过一体成形而制作的试样的图。

[0032] 图8是表示第一实施例中、仅通过小孔式焊接而焊接的试样的硬度分布的图。

[0033] 图9是表示第一实施例中、通过小孔式焊接和热传导焊接而焊接的试样的硬度分布的图。

[0034] 图10是表示在与图9所示的硬度分布的评价不同的热传导焊接的条件下焊接的试样的硬度分布的图。

[0035] 图11是表示在与图9及图10所示的硬度分布的评价不同的热传导焊接的条件下焊接的试样的硬度分布的图。

[0036] 图12是表示在与图9-图11所示的硬度分布的评价不同的热传导焊接的条件下焊接的试样的硬度分布的图。

[0037] 图13是表示在与图9-图12所示的硬度分布的评价不同的热传导焊接的条件下焊接的接头的硬度分布的图。

[0038] 图14是表示在与图9-图13所示的硬度分布的评价不同的热传导焊接的条件下焊接的接头的硬度分布的图。

[0039] 图15是表示在与图9-图14所示的硬度分布的评价不同的热传导焊接的条件下焊接的接头的硬度分布的图。

[0040] 图16是拍摄第一实施例中进行小孔式焊接之后的焊接部的凝固终端部的扩大照片。

[0041] 图17是测定图16所示的凝固终端部的凹陷深度的坐标图。

[0042] 图18是拍摄第一实施例中进行热传导焊接之后的焊接部的凝固终端部的扩大照片。

[0043] 图19是测定图18所示的凝固终端部的凹陷深度的坐标图。

[0044] 图20是表示第二实施例的S10C中,仅通过小孔式焊接而焊接的试样的硬度分布的图。

[0045] 图21是表示第二实施例的S10C中,通过小孔式焊接和热传导焊接而焊接的试样的硬度分布的图。

[0046] 图22是表示第二实施例的S15C中,仅通过小孔式焊接而焊接的试样的硬度分布的图。

[0047] 图23是表示第二实施例的S15C中,通过小孔式焊接和热传导焊接而焊接的试样的硬度分布的图。

[0048] 图24是表示第二实施例的S20C中,仅通过小孔式焊接而焊接的试样的硬度分布的图。

[0049] 图25是表示第二实施例的S20C中,通过小孔式焊接和热传导焊接而焊接的试样的硬度分布的图。

[0050] 图26是表示第二实施例的S25C中,仅通过小孔式焊接而焊接的试样的硬度分布的图。

[0051] 图27是表示第二实施例的S25C中,通过小孔式焊接和热传导焊接而焊接的试样的硬度分布的图。

[0052] 图28是表示第二实施例的S35C中,仅通过小孔式焊接而焊接的试样的硬度分布的图。

[0053] 图29是表示第二实施例的S35C中,通过小孔式焊接和热传导焊接而焊接的试样的硬度分布的图。

具体实施方式

[0054] 以下,使用图1-图7对本发明的钢材的对焊接头的一个实施方式进行详细地说明。

如图1及图2所示,本实施方式的钢材的对焊接头1(以下,也简称为“接头1”)是以形成为圆柱状的一对相同的钢材为母材2、2,将这些母材2、2的端部2a、2a彼此利用焊接部3结合的接头。即,上述焊接部3通过如下形成,使上述母材2、2的端部2a、2a的端面2b、2b彼此对接并(对置)抵接,以从上述母材2、2的表面(外周面)2c、2c向内部沿着抵接的上述端面2b、2b横跨这些端部2a、2a的方式,焊接成环状。

[0055] 更具体地说明,该焊接部3通过如下形成,对母材2、2的端部2a、2a从表面(外周面)2c、2c环状地进行小孔式焊接后,对进行了该小孔式焊接的部分从其表面环状地重复进行热传导焊接。此时,如图3(a)及图3(b)所示,这些小孔式焊接及热传导焊接均可能通过高功率密度光束7等的照射来进行,在此对使用激光7的情况进行叙述。上述小孔式焊接中,通过利用高功率密度的激光7进行加热(第一加热),在母材2、2的端部2a、2a形成凹陷(小孔)。然后,该激光7通过该凹陷到达至母材2、2的内部,由此,可进行更深的焊接。此时,通过该小孔式焊接而熔融的部分通过之后的冷却而凝固,由此形成熔融凝固部3d,其硬度比焊接前高。

[0056] 另一方面,上述热传导焊接中,使用比小孔式焊接的功率密度低的激光7。通过该热传导焊接,上述端部2a、2a的熔融凝固部3d的表面2c、2c附近被再加热(第二加热),由此,发生再熔融·再凝固,成为再熔融凝固部5,与此同时,比该再熔融凝固部5靠内部侧的部分(距表面的深度更深的部分)通过上述再加热在不伴随熔融的情况下被改质,成为凝固再加热部4。然后,作为这些小孔式焊接及热传导焊接的结果,以横跨上述母材2、2的端部2a、2a的方式形成焊接部3。

[0057] 即,上述焊接部3由熔融凝固部3d、再熔融凝固部5、凝固再加热部4形成,熔融凝固部3d通过使上述一对母材2、2的端部2a、2a通过自上述表面2c、2c的第一加热(小孔式焊接)熔融并凝固而形成,再熔融凝固部5通过从上述表面对该熔融凝固部3d进行再加热(热传导焊接),使该熔融凝固部3d再熔融并且再凝固而形成,凝固再加热部4形成于比该再熔融凝固部5更靠母材2、2的内部侧部分(距表面的深度更深的部分),通过上述再加热在不伴随熔融的情况下使上述熔融凝固部3d的组织发生变化而形成。此时,上述凝固再加热部4的组织是将通过小孔式焊接而进行了马氏体化的熔融凝固部3d的组织通过热传导焊接而退火,由此进行了改质的组织,因此,与上述熔融凝固部3d相比,硬度变小,韧性提高。另一方面,上述再熔融凝固部5的组织是通过热传导焊接使上述熔融凝固部3d再熔融,并通过之后的冷却而再凝固的组织,因此,与上述凝固再加热部4相比,硬度变大。

[0058] 在此,上述熔融凝固部3d在其宽度方向中心(以图2的单点划线表示的位置,本实施方式中与母材2、2的端面2b、2b的抵接位置实际上一致。)最深,从焊接部3的表面3a(即,再熔融凝固部5的表面5a)到其最深部的深度成为 d_0 。另外,上述再熔融凝固部5在其宽度方向中心(与熔融凝固部3d的宽度方向中心实际上一致。)也最深,从焊接部3的表面3a(再熔融凝固部5的表面5a)到其最深部的深度成为比上述 d_0 小的 d_1 。即,上述焊接部3、熔融凝固部3d及再熔融凝固部5形成为宽度方向中心实际上相互一致,相对于其中心,宽度方向上构成实质性地对称。

[0059] 另外,作为铬钼钢及机械结构用碳钢等钢材的一般性质,已知在碳浓度(即碳含有率,具体而言,包含于母材的碳的质量%)较高的情况下,钢材的硬度变高,但韧性变低,另一方面,在碳浓度较低的情况下,钢材的硬度变低,但韧性变高。因此,为了提高以钢材为母材的接头1的疲劳强度,为了防止母材的硬度和韧性的任一方变低,需要将钢材的碳浓度设

为某预定的范围内。因此,在此,将母材2、2整体中所占的碳浓度(碳含有率)设为0.1质量%以上且0.35质量%以下。

[0060] 而且,根据后述的实验的结果,发现:使用具有上述的碳浓度的母材2、2时,在熔融凝固部3d的宽度 W_0 、该熔融凝固部3d的上述深度 d_0 、再熔融凝固部5的宽度 W_1 、该再熔融凝固部5的上述深度 d_1 满足下述的式(1)及式(2)的关系的情况下,可得到具有比母材2、2更高的旋转弯曲疲劳强度的对焊接头1。

$$[0061] \quad 0.46W_0 \leq W_1 \cdots (1)$$

$$[0062] \quad 0.14d_0 \leq d_1 \leq 0.73d_0 \cdots (2)$$

[0063] 另外,在通过重叠进行小孔式焊接和热传导焊接而形成的再熔融凝固部5的表面5a(即,焊接部3的表面3a)的部分产生残余应力。该残余应力在再熔融凝固部5的宽度方向中心部(即,焊接部3的宽度方向中心部)成为压缩应力,在与该中心部相比靠宽度方向外侧成为拉伸应力。因此,在再熔融凝固部5的表面5a,能够抑制在焊接部3的宽度方向中心附近产生龟裂。

[0064] 另外,小孔式焊接及热传导焊接均以在周向上的焊接的始端部和终端部(图16、图18所示的凝固终端部6)在相同的位置均重叠的方式进行焊接。在小孔式焊接时,在结束该小孔式焊接时,在该终端部形成激光7的照射产生的凹陷(参照图17)。根据通过热传导焊接使小孔式焊接的焊接部(即,熔融凝固部3d)再熔融·凝固,能够减小距焊接部表面的该凹陷的深度(最大深度) h ,由此,能够抑制作用于凝固终端部6的应力的集中。而且,根据后述的实验的结果,优选焊接部3的距表面3a的凹陷的深度 h 和上述再熔融凝固部5的深度 d_1 具有下述关系,

$$[0065] \quad 0.32d_1 \geq h \cdots (3)$$

[0066] 此外,上述接头1中,对接的母材2、2的端面2b、2b的形状形成为圆形,但不限于于此,只要对接的母材2的端面2b、2b为实际上相同形状相同大小等,将对接的母材2、2的表面2c、2c实际上配置于同一面上即可。

[0067] 实施例

[0068] 接着,在与第一比较例(表1及表2的试验条件1、8)及第二比较例(表3及表4的试验条件9、11、13、15、17)的比较中分别说明本发明的第一实施例(表1及表2的试验条件2-7)及第二实施例(表3及表4的试验条件10、12、14、16、18)。首先,如图4-图6所示,这些第一及第二实施例中使用的试验片8通过如下制作,使用利用中空且圆筒状的主体部9a和从该主体部9a向前端侧变细的中空的端部9b且一体形成的、作为上述母材2的试样10,将一对该试样10的端部9b彼此如上所述地通过小孔式焊接及热传导焊接进行对焊。

[0069] 而且,第一实施例中,使用上述试验片8测定并评价通过使上述热传导焊接中的激光焊接条件变化而使再熔融凝固部5的大小变化、从而随此变化的焊接部3的各种物性值。另一方面,第二实施例中,使用上述试验片8测定并评价通过使试样10的碳浓度(碳含有率)变化而随此进行变化的焊接部3的各种物性值。

[0070] 此外,作为上述试样10,使用其总长为80mm、主体部9a的外径为20mm、端部9b的前端面的外径为14mm、主体部9a及端部9b的内径为12mm的试样。

[0071] 第一实施例中使用的试样10由铬钼钢钢材(SCM415)构成,含有:0.13质量%-0.18质量%的C、0.15质量%-0.35质量%的Si、0.60质量%-0.90质量%的Mn、分别为0.030质

量%以下的P及S、0.25质量%以下的Ni、0.90质量%-1.20质量%的Cr、0.15质量%-0.25质量%的Mo。该第一实施例中,在固定了小孔式焊接的激光输出、焊接速度、焦点直径(点径)(即,固定了熔融凝固部3d的宽度W0及深度d0)的条件下,使热传导焊接的激光输出、焊接速度、焦点直径(点径)变化,从而使再熔融凝固部5的宽度W1及深度d1变化,由此,测定焊接部3的表面3a及其附近的残余应力、该焊接部3的平均硬度、该焊接部3的凝固终端部6的凹陷深度h、制作的试验片8的旋转弯曲疲劳强度。

[0072] 在此,在进行小孔式焊接及热传导焊接时使用光纤激光焊接机,使用该焊接机照射激光7,由此,进行作为母材2的试样10的焊接。小孔式焊接和热传导焊接的切换通过如下进行,使该焊接机的聚光镜在接头1的轴线L方向(即,与对接方向垂直的方向)移动,使照射于一对试样10、10的端部9b、9b的对接部分(端面的抵接部分)的激光7的焦点直径变化。在进行小孔式焊接时,需要更高的功率密度,因此,如图3(a)所示,使用了较小地缩小了焦点直径的激光7。另一方面,在进行热传导焊接时,需要比小孔式焊接用的激光7降低功率密度,因此,如图3(b)所示,使用了焦点直径比上述小孔式焊接大的激光7。

[0073] 另外,第一比较例(条件1及条件8)的试验片8采用由与第一实施例中使用的试样10相同形状相同大小且相同的材料(SCM415)构成的试样来制作。此时,条件1的试验片8通过将一对试样10仅通过小孔式焊接进行对焊而制作。另一方面,条件8的试验片8通过如下来制作,在变更在小孔式焊接后进行的热传导焊接的激光输出、焊接速度、焦点直径,且使再熔融凝固部5的宽度和深度比第一实施例的试验片8缩小的焊接条件下,将一对试样10进行对焊。而且,该第一比较例中,对于这些制作的试验片8,分别测定焊接部的表面3a及其附近的残余应力、焊接部3的平均硬度、焊接部3的凝固终端部6的凹陷深度、旋转弯曲疲劳强度。以下的表1及表2中示出第一实施例及第一比较例的焊接条件和测定结果。

[0074] [表1]

	试验条件	材质碳量 wt%	焊接条件							熔融凝固部形状				
			小孔式焊接条件				再熔融条件				熔融凝固部 (mm)		再熔融凝固部尺寸 (mm)	
			激光输出 (W)	焊接速度 (mm/s)	焦点直径 (mm)	保护气体	激光输出 (W)	焊接速度 (mm/s)	焦点直径 (mm)	保护气体	宽度 W0	深度 d0	宽度 W1	深度 d1
[0075]	比较例 1	SCM415 C0.15wt%	850	50	0.5	氮气	-	-	-	氮气	1	1	-	-
实施例 2	850						50	1.5	1.05				0.23	
实施例 3	850						50	2.2	1.01				0.16	
实施例 4	850						50	0.9	0.95				0.33	
实施例 5	600						50	1.5	0.82				0.15	
实施例 6	400						50	1.5	0.46				0.14	
实施例 7	600						50	0.4	0.75				0.73	
比较例 8	350						200	0.4	0.35				0.08	

[0076] [表2]

	试验条件	物性							判定
		残余应力 (MPa)			平均硬度 (Hv)		凝固终端部 凹陷深度 (mm)	疲劳强度 (母材 260MPa)	
		A1	A2	A3	位置①	位置②			
[0077]	比较例 1	135	288	152	461	-	0.14	130	×
	实施例 2	-263	178	93	460	387	0.01	360	○
	实施例 3	-218	240	125	468	372	0.05	350	○
	实施例 4	-282	205	115	443	384	0.06	300	○
	实施例 5	-100	262	120	470	395	0.03	300	○
	实施例 6	-290	293	194	469	399	0.03	290	○
	实施例 7	-188	250	130	469	362	-	270	○
	比较例 8	-45	270	144	498	458	0.02	160	×

[0078] 如表1所示,在条件1-8的任意条件下,通过将小孔式焊接时的焊接条件设为激光输出:850W、焊接速度:50mm/s、焦点直径:0.5mm,使用氮气作为用于将焊接部位与大气隔绝的保护气体,由此,均形成了宽度W0为1mm、深度d0为1mm的熔融凝固部3d。另外,在条件2-8中,通过将进行热传导焊接时的焊接条件在激光输出:350W-850W、焊接速度:50mm/s或200mm/s、激光的焦点直径:0.4mm-2.2mm之间进行调节,保护气体使用氮气,从而形成了具有相互不同的宽度W1和深度d1的再熔融凝固部5。

[0079] 焊接部3及其附近的表面上的残余应力使用对试验片8的表面照射特定的波长的X射线的X射线应力测定法进行测定。在条件1-条件8中,如图6所示,在位于焊接部3的宽度方向的中心的表面3a的测定点A1、从测定点A1起向试样10的基端侧(试验片8的一端侧)离开1.5mm的测定点A2、从测定点A2进一步向相同的基端侧离开1mm的测定点A3的三个点,分别测定上述残余应力。此时,在条件1中,在测定点A1测定熔融凝固部3d的宽度方向的中心点处的残余应力,在测定点A2及测定点A3测定组织不因焊接而变化的点处的残余应力。另外,在条件2-条件8中,在测定点A1测定再熔融凝固部5的宽度方向的中心点处的残余应力,在测定点A2及测定点A3测定组织不因焊接而变化的点处的残余应力。

[0080] 其结果,在条件2-8中,测定点A1的残余应力成为负值,可知在测定点A1附近具有压缩应力。因此,在条件2-条件8中,能够在再熔融凝固部5的测定点A1附近抑制龟裂的产生。另外,在条件2-条件7中,测定点A1处的残余应力成为-100MPa以下,在这些条件下,如后述,试验片8的旋转弯曲疲劳强度比与该试验片8相同形状相同大小,且利用与试样10相同的材料(SCM415)无缝地一体成形的比较用试验片11(即,母材其本身)高。另一方面,条件1的试验片8中,熔融凝固部3d的测定点A1处的残余应力成为正值,可知在测定点A1附近具有拉伸应力。因此,在条件1中,不仅不能抑制测定点A1附近的龟裂的产生,而且可能促进龟裂的产生和扩展。

[0081] 对于试验片8的硬度,测定并评价试验片8中包含凝固再加热部4及再熔融凝固部5的母材的维氏硬度。维氏硬度的测定中使用普通的微型维氏硬度计,将试验片8沿轴向切断,在该切面上,相对于长度方向(图8-图15中的横向)和宽度方向(图8-图15的纵向)以0.1mm间隔测定。其结果,如图9-图15所示,在条件2-条件8中,凝固再加热部4的维氏硬度的平均值比再熔融凝固部5的维氏硬度的平均值低。

[0082] 在此,测定条件1的维氏硬度,其结果,如图8所示,通过小孔式焊接熔融并凝固的熔融凝固部3d的维氏硬度成为比接头的其它部分的维氏硬度高的数值。认为这是由于,熔融凝固部3d的组织由于小孔式焊接而马氏体化。另外,该接头的维氏硬度在图8所示的(纵,横)为(0.1mm,0.7mm)的位置和(0.2mm,0.5mm)的位置成为660Hv,成为比其它位置高很多的数值。认为这是由于,这两个位置处于小孔式焊接的熔融部和受到进行小孔式焊接时的加

热的影响而被淬火的热影响部的边界附近,小孔式焊接后的冷却速度变快,因此边界附近的组织马氏体化。

[0083] 另外,也如图16-图19所示,焊接部3的凝固终端部6的凹陷深度 h 为焊接母材2、2彼此时的、形成于最后照射激光的部位的凹坑(凹陷)的最大高低差。凝固终端部6的凹陷深度 h 在仅进行小孔式焊接的条件1中成为0.14mm,但在小孔式焊接之后进行热传导焊接的条件2-条件8中成为0.01mm-0.06mm。而且,再熔融凝固部5的凝固终端部6的凹陷深度 h 和再熔融凝固部5的深度 d_1 在条件2-条件8中具有上述的式(3)的关系。

[0084] 这样,通过在小孔式焊接之后进行热传导焊接,能够进一步缩小凝固终端部6的凹陷深度 h ,其结果,能够抑制作用于凝固终端部6的应力的集中。

[0085] 对于测定旋转弯曲疲劳强度的旋转弯曲疲劳试验(Rotating bending Fatigue Test (ISO1143:2010)),使用4点弯曲负载形式的小野式旋转弯曲疲劳试验装置。而且,使该试验装置的一对短轴(スピンドル)的前端把持试验片的两端,测定以2000rpm的转速旋转2000万次的情况下断裂时的负载(即,在试验片8的轴向中央部(焊接部3)作用的反复应力的最大值)。另外,为了评价测定的试验片8的旋转弯曲疲劳强度,对于上述的比较用试验片11也同样地测定旋转弯曲疲劳强度。其结果,在条件1中,试验片8的旋转弯曲疲劳强度成为比比较用试验片11的旋转弯曲疲劳强度低的值。认为这是由于,若是仅小孔式焊接,则焊接部的组织马氏体化,成为较脆的组成。

[0086] 另外,在条件2-条件7的情况下,即,在熔融凝固部3d的宽度 W_0 、该熔融凝固部3d的深度 d_0 、再熔融凝固部5的宽度 W_1 、该再熔融凝固部5的深度 d_1 同时满足上述的式(1)及式(2)的关系的情况下,试验片8的旋转弯曲疲劳强度均比比较用试验片11的旋转弯曲疲劳强度(即,母材本身的旋转弯曲疲劳强度(母材强度))高。认为这是由于,通过在小孔式焊接部分重叠进行热传导焊接,在形成于焊接部3的比再熔融凝固部5靠内部侧部分(距表面3a的深度更深的部分)的凝固再加热部4,与形成于该焊接部3的表面3a侧部分的该再熔融凝固部5相比硬度变低,韧性变高,因此,即使在焊接部3的表面3a产生裂纹,裂纹也难以传播至内部。另一方面,在条件8中,试验片8的旋转弯曲疲劳强度成为比比较用试验片11的旋转弯曲疲劳强度低的值。认为这是由于,进行热传导焊接时的激光的能量密度比其它的条件低,凝固再加热部4未形成至焊接部的内部深处。

[0087] 根据以上的测定结果,在条件2-条件7中,通过将作为母材2、2的试样10、10彼此进行对焊而制作的试验片8的旋转弯曲疲劳强度比通过单一母材一体成形的比较用试验片11(母材本身)的旋转弯曲疲劳强度高,因此,判定为改善疲劳强度。另外,在条件1及条件8中,通过将一对试样10、10进行对焊而形成的试验片8的旋转弯曲疲劳强度比比较用试验片11的旋转弯曲疲劳强度低,因此,判定为未改善疲劳强度。

[0088] 接着,在与第二比较例的比较中说明本发明的第二实施例。该第二实施例中,使用利用机械结构用碳钢形成作为母材2的试样10,并将一对试样10、10通过小孔式焊接及热传导焊接进行对焊而成的试验片12。此时,作为试样10,使用了与第一实施例中使用的试样相同形状相同大小的试样。另外,作为形成该试样10的机械结构用碳钢,使用:具有0.15质量%-0.35质量%的Si、0.30质量%-0.60质量%的Mn、0.030质量%以下的P、0.035质量%以下的S、0.08质量%-0.13质量%的C的S10C;Si、Mn、P、S具有与S10C相同的质量%且具有0.13质量%-0.18质量%的C的S15C;Si、Mn、P、S具有与S10C相同的质量%且具有0.18质

量%-0.23质量%的C的S20C;Si、Mn、P、S具有与S10C相同的质量%且具有0.22质量%-0.28质量%的C的S25C;及Si、P、S具有与S10C相同的质量%且具有0.60质量%-0.90质量%的Mn、具有0.32质量%-0.38质量%的C的S35C。

[0089] 另一方面,第二比较例的各试验片12通过如下制作,将与第二实施例的各焊接条件中使用的试样10相同形状相同大小,且由相同的机械结构用碳钢构成的一对试样10、10仅通过小孔式焊接进行对焊。然后,对于第二实施例的各试验片12和第二比较例的各试验片12,分别测定并评价焊接部3的表面3a及其附近的残余应力、焊接部3的平均硬度、焊接部3的凝固终端部的凹陷深度h、旋转弯曲疲劳强度。以下的表3及表4中表示第二实施例及第二比较例的焊接条件和测定结果。此外,对于Si、Mn、P、S具有与S35C相同的质量%且具有0.42质量%-0.48质量%的C的S45C,在小孔式焊接的熔融部分凝固的阶段在焊接部产生龟裂,容易破裂,因此,判断为疲劳强度在该阶段明显变差,并进行各种测定及基于其的评价。

[0090] [表3]

试验条件	材质碳量 wt%	焊接条件							熔融凝固部形状				
		小孔式焊接条件				再熔融条件			熔融凝固部 (mm)		再熔融凝固部尺寸 (mm)		
		激光输出 (W)	焊接速度 (mm/s)	焦点直径 (mm)	保护气体	激光输出 (W)	焊接速度 (mm/s)	焦点直径 (mm)	保护气体	宽度 W0	深度 d0	宽度 W1	深度 d1
比较例 9	S10C	850	50	0.5	氮气	-	-	-	氮气	1	1	-	-
实施例 10	C0.1wt%					850	50	1.5				1.05	0.23
比较例 11	S15C					-	-	-				-	-
实施例 12	C0.15wt%					850	50	1.5				1.05	0.23
比较例 13	S20C					-	-	-				-	-
实施例 14	C0.20wt%					850	50	1.5				1.05	0.23
比较例 15	S25C					-	-	-				-	-
实施例 16	C0.25wt%					850	50	1.5				1.05	0.23
比较例 17	S35C					-	-	-				-	-
实施例 18	C0.35wt%	850	50	1.5	1.05	0.23							

[0092] [表4]

试验条件	物性								判定	母材强度 (MPa)
	残余应力 (MPa)			平均硬度 (Hv)		凝固终端部 凹陷深度(mm)	疲劳强度 (MPa)			
	A1	A2	A3	位置①	位置②					
比较例 9	-179	139	107	379	-	0.1	240	○	200	
实施例 10	-209	110	95	393	353	0.05	260	○		
比较例 11	-44	237	159	460	-	0.1	170	×	230	
实施例 12	-363	211	140	455	360	0.05	260	○		
比较例 13	-20	213	139	463	-	0.1	180	×	260	
实施例 14	-322	225	130	435	365	0.05	330	○		
比较例 15	-44	258	151	543	-	0.1	290	○	270	
实施例 16	-328	274	149	560	415	0.05	310	○		
比较例 17	-189	213	95	671	-	0.1	370	○	330	
实施例 18	-165	277	134	660	453	0.05	400	○		

[0094] 焊接部3的表面3a的残余应力通过使用与上述第一实施例同样的测定法测定。此时,在作为比较例的条件9、条件11、条件13、条件15及条件17中,在测定点A1测定熔融凝固部3d的宽度方向的中心点处的残余应力,在测定点A2及测定点A3测定组织不因焊接而变化的点处的残余应力。另外,在作为实施例的条件10、条件12、条件14、条件16、条件18中,在测定点A1测定再熔融凝固部5的宽度方向的中心点处的残余应力,在测定点A2及测定点A3测

定组织不因焊接而变化的点处的残余应力。

[0095] 其结果,在全部条件9-条件18中,测定点A1的残余应力成为负值,可知在测定点A1附近具有压缩应力。另外,条件10、条件12、条件14及条件16的试验片12的测定点A1处的残余应力,即在小孔式焊接之后进行热传导焊接的试验片12的测定点A1处的残余应力成为分别比条件9、条件11、条件13及条件15的试验片12的测定点A1处的残余应力、即仅进行了小孔式焊接的试验片12的测定点A1处的残余应力小的负值。因此,在小孔式焊接之后进行热传导焊接的条件10、条件12、条件14及条件16中,能够比仅进行了小孔式焊接的条件9、条件11、条件13及条件15更抑制测定点A1附近的龟裂的产生。

[0096] 此外,在条件17及条件18的情况下,即在利用S35C形成试验片12的情况下,在小孔式焊接之后进行了热传导焊接的实施例(条件18)的测定点A1处的残余应力成为比仅进行了小孔式焊接的比较例(条件17)的测定点A1处的残余应力略大的负值。但是,由于具有比作为其它的比较例的条件13、条件15及条件17小的负值,对于使用了S35C的条件18的实施例,与使用了S10C-S25C的其它的实施例一样,也期待能够抑制在测定点A1附近的龟裂的产生。

[0097] 关于条件9-条件18的接头1的硬度,通过与第一实施例的条件1-条件8同样的方法,测定并评价试验片12的包含凝固再加热部4及再熔融凝固部5的母材的维氏硬度。其结果,如图21、图23、图25、图27及图29所示,在条件10、条件12、条件14、条件16及条件18中,凝固再加热部4的维氏硬度的平均值比再熔融凝固部5的维氏硬度的平均值变低。另外,如图20、图22、图24、图26及图28所示,在条件9、条件11、条件13、条件15、条件17中,熔融凝固部3d的维氏硬度成为比未通过小孔式焊接而熔融的接头的其它的部分高的数值。

[0098] 在此,如图27所示,在条件16中,硬度在(纵,横)为(0.3mm,0.4mm)的位置成为726Hv,硬度在(0.3mm,0.5mm)的位置成为655Hv,成为比其它的位置高很多的数值。认为维氏硬度在上述两个位置变高的原因与条件1的产生硬度较高的位置的原因一样。即,认为是起因于这两个位置处于基于小孔式焊接的熔融部和受到进行小孔式焊接时的加热的影响而被淬火的热影响部的边界附近,边界附近的组织被马氏体化。

[0099] 另外,焊接部3的凝固终端部6的凹陷深度h在仅进行了小孔式焊接的条件9、条件11、条件13、条件15及条件17下成为0.1mm,在小孔式焊接之后进行了热传导焊接的条件10、条件12、条件14、条件16及条件18下成为0.01mm-0.06mm。而且,再熔融凝固部5的凝固终端部6的凹陷深度h和再熔融凝固部5的深度d1的数值在条件10、条件12、条件14、条件16、条件18的任意条件中均成为 $h=0.05\text{mm}$ 、 $d1=0.23\text{mm}$ 。因此,再熔融凝固部5的凝固终端部6的凹陷深度h和再熔融凝固部5的深度d1具有上述式(3)的关系。这样,第二实施例中,通过在小孔式焊接之后进行热传导焊接,也能够进一步减小凝固终端部6的凹陷深度h,其结果,能够抑制作用于凝固终端部6的应力的集中。

[0100] 对于旋转弯曲疲劳强度,制作由S10C-S35C的各材料构成的试验片12,与上述第一实施例一样,将该试验片12安装于上述小野式旋转弯曲疲劳试验装置,测定在以2000rpm的转速旋转2000万次的情况下断裂时的负载(即,在试验片12的轴向中央部(焊接部3)作用的反复应力的最大值)。另外,为了评价测定的试验片12的旋转弯曲疲劳强度,对于与该试验片12相同形状相同大小且由S10C-S35C的各材料无缝地一体成形的各比较用试验片13,也同样进行旋转弯曲疲劳试验,测定母材本身的旋转弯曲疲劳强度(母材强度)。

[0101] 其结果,在条件10、条件12、条件14、条件16、条件18的任意试验片12中,熔融凝固部3d的宽度W0、熔融凝固部3d的深度d0、再熔融凝固部5的宽度W1、再熔融凝固部5的深度d1均满足上述的式(1)及式(2)的关系,能够得到比由一体成形构成的试样13(即,母材本身)高的旋转弯曲疲劳强度。认为这是由于,与第一实施例的试验片8的情况一样,在本第二实施例的试验片12中,形成于焊接部3的比再熔融凝固部5靠内部侧部分的凝固再加热部4具有比形成于该焊接部3的表面3a侧部分的再熔融凝固部5更低的硬度、更高的韧性,因此,即使在焊接部3的表面3a产生裂纹,裂纹也难以传播至内部。

[0102] 根据以上的测定结果,在作为第二实施例的条件10、条件12、条件14、条件16及条件18中,通过将作为母材2、2的试样10、10彼此进行对焊而制作的试验片12的旋转弯曲疲劳强度比利用单一母材一体成形的比较用试验片13(母材本身)的旋转弯曲疲劳强度变高,因此,判定为在碳浓度(碳含有率)为0.1质量%-0.35质量%的范围的全部钢材中,均改善疲劳强度。另一方面,在作为第二比较例的条件9、条件15及条件17中,试验片12的旋转弯曲疲劳强度比比较用试验片13的旋转弯曲疲劳强度高,能够判定为改善疲劳强度,但在条件11及条件13中,试验片12的旋转弯曲疲劳强度比比较用试验片13低,不能说改善疲劳强度。因此,对于仅小孔式焊接的试验片12,在碳浓度(碳含量)为0.1质量%-0.35质量%的范围的钢材中,未必全部改善疲劳强度。

[0103] 附图标记说明

- [0104] 1 对焊接头
- [0105] 2 母材
- [0106] 3 焊接部
- [0107] 3d 熔融凝固部
- [0108] 4 凝固再加热部
- [0109] 5 再熔融凝固部
- [0110] 6 凝固终端部
- [0111] 8、12 试验片
- [0112] 10 试样
- [0113] 11、13 比较用试验片

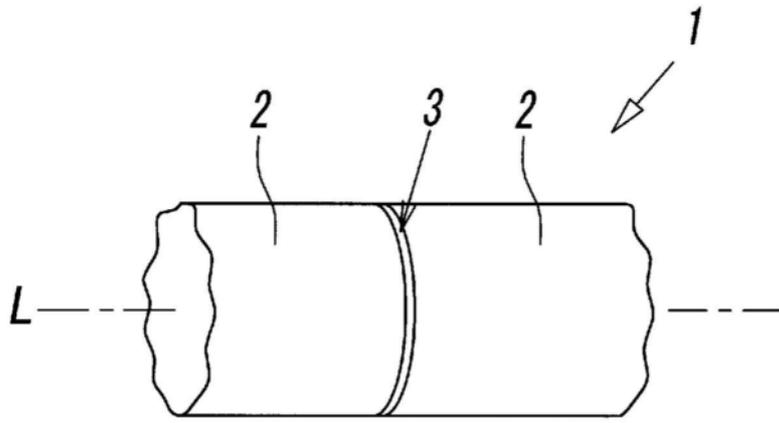


图1

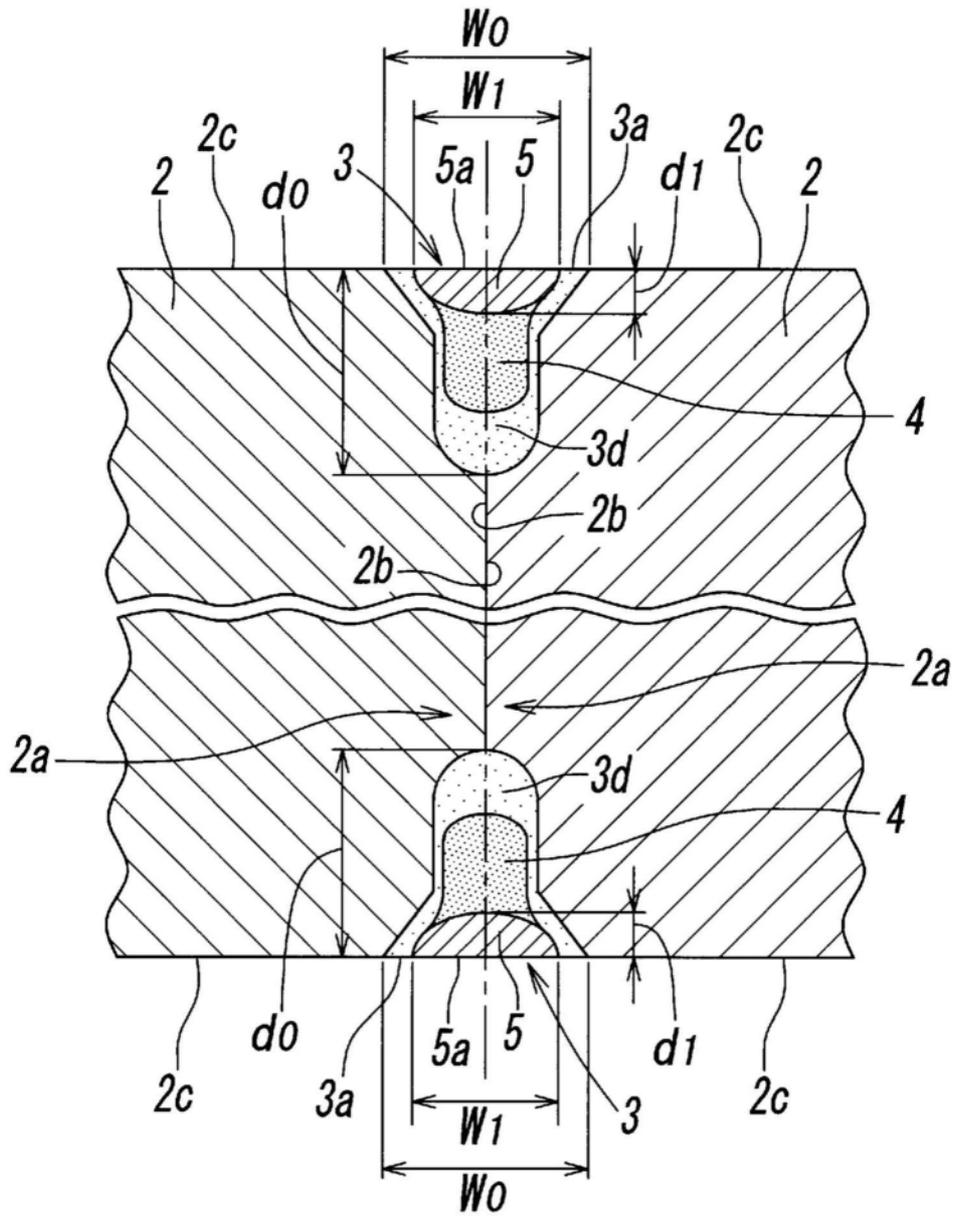
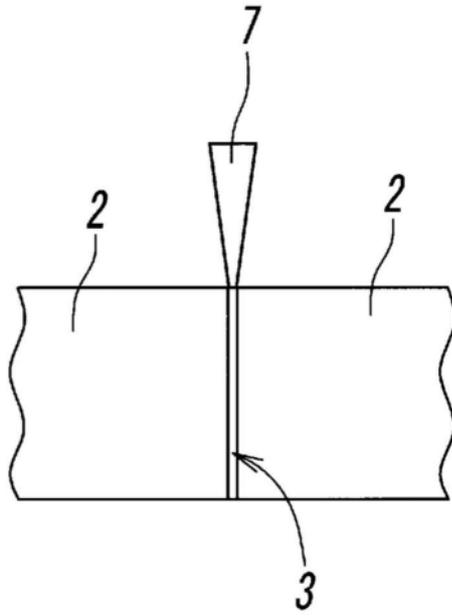


图2

(a)



(b)

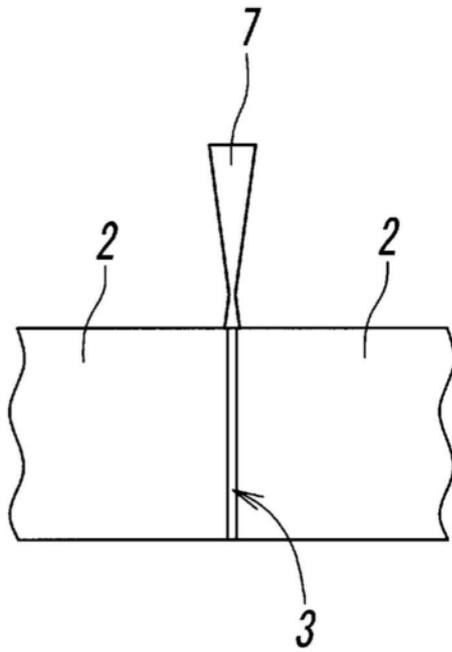


图3

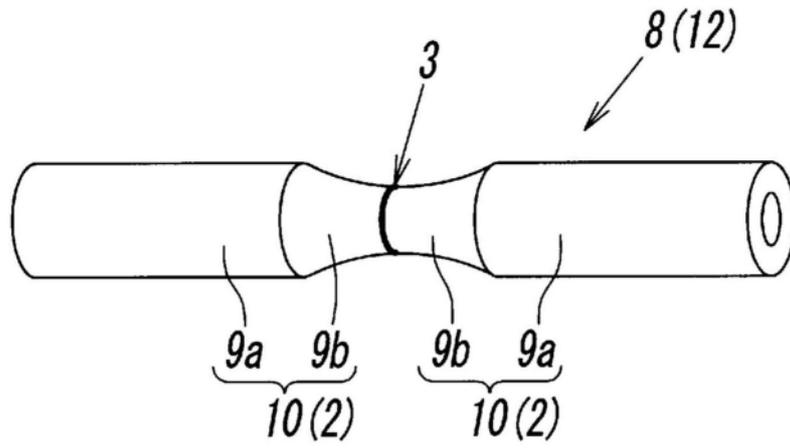


图4

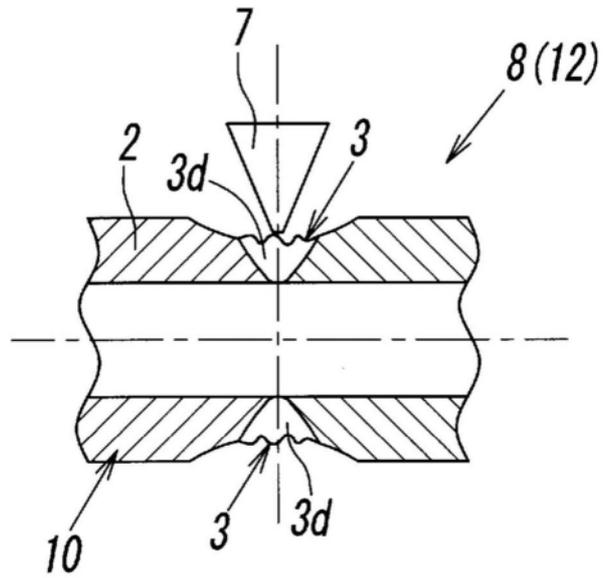


图5

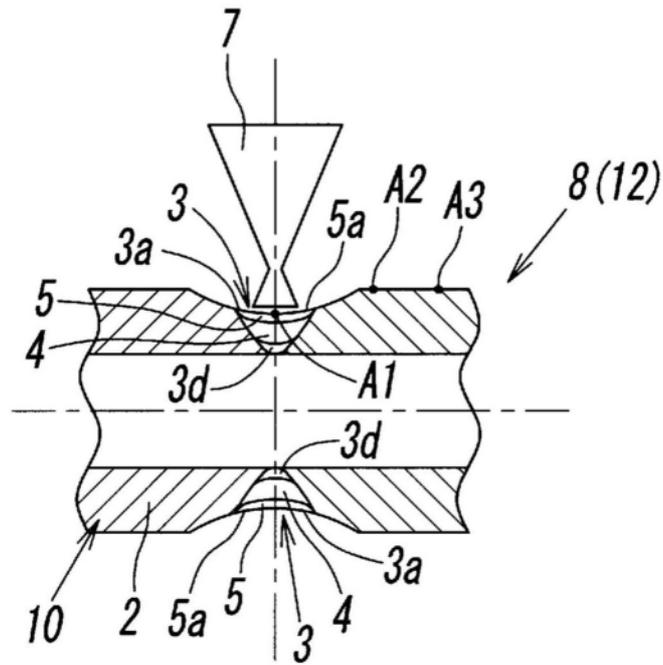


图6

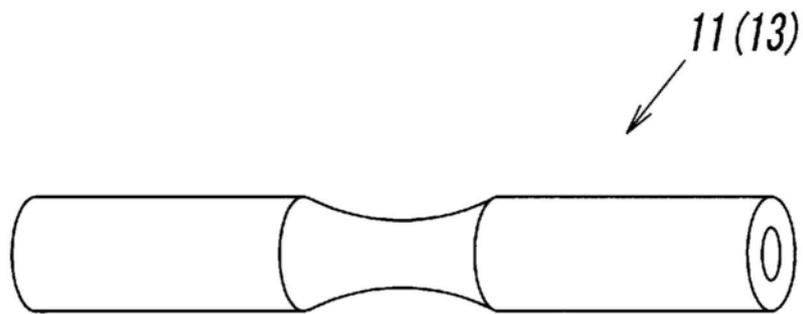


图7

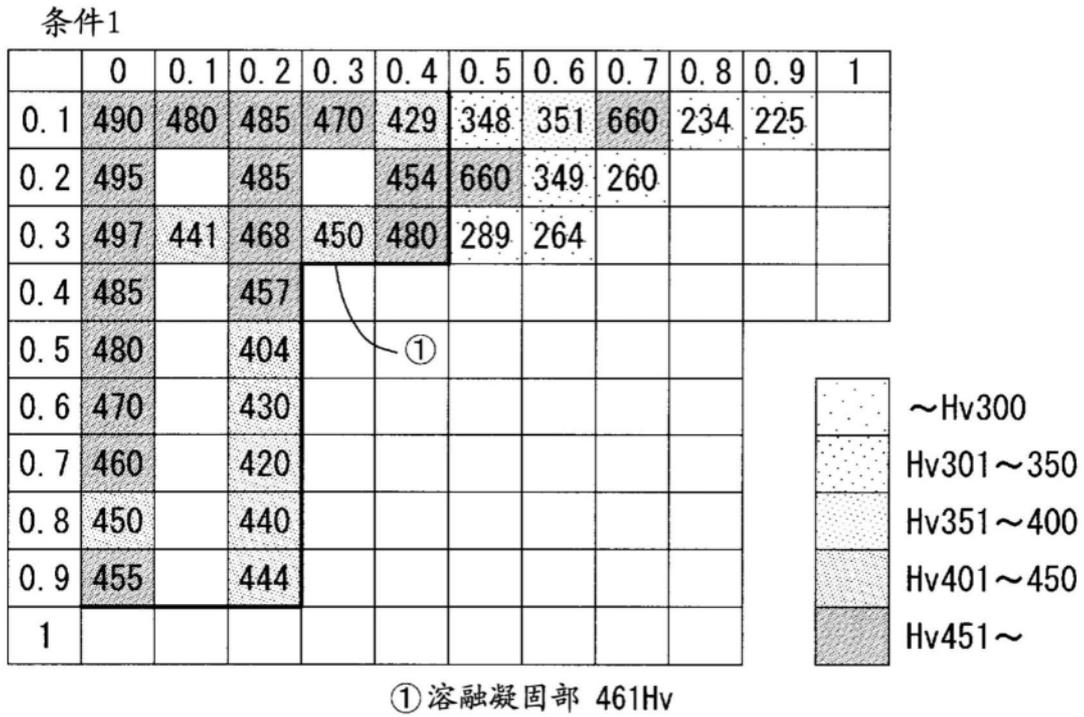


图8

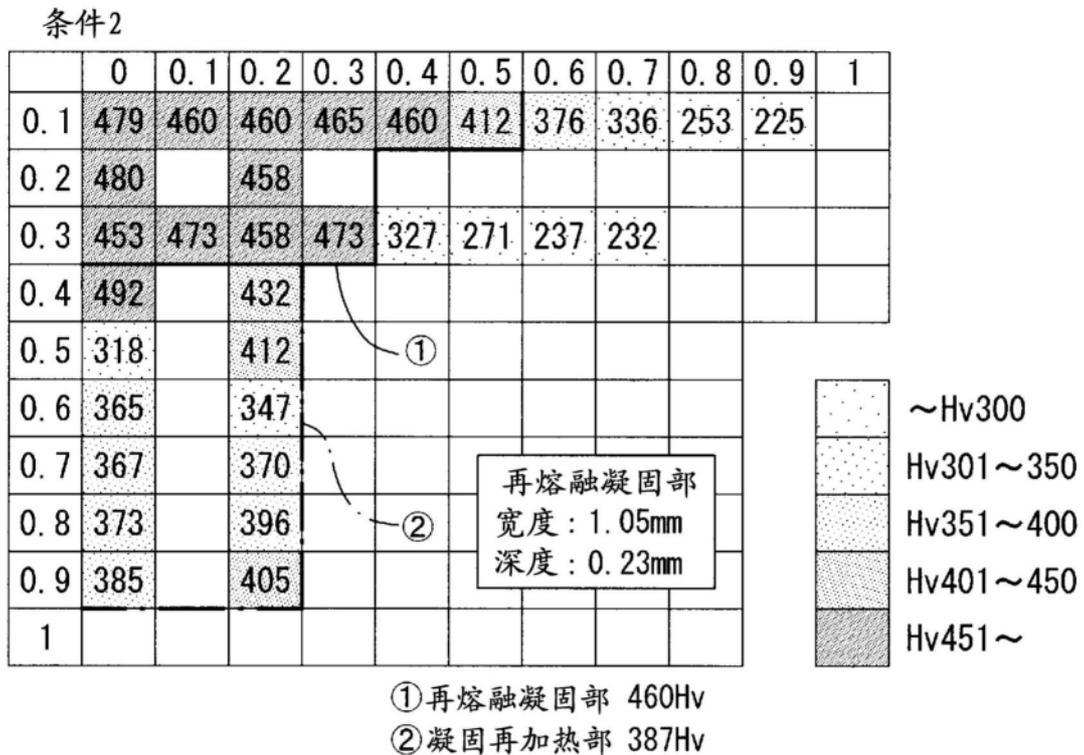


图9

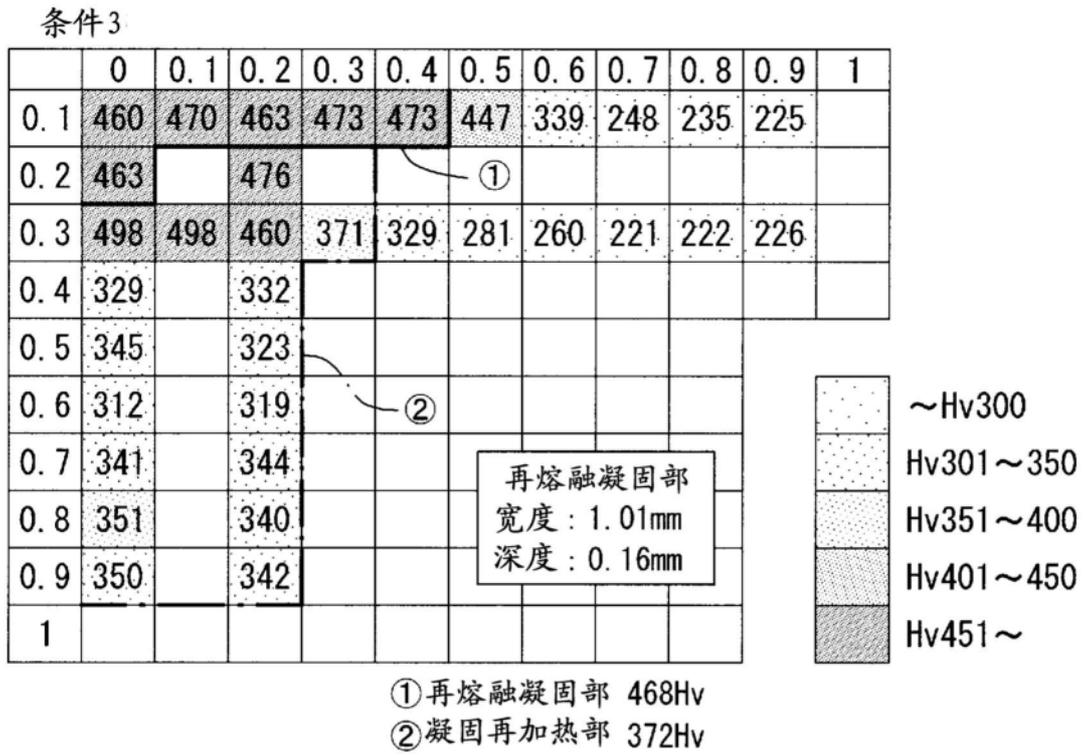


图10

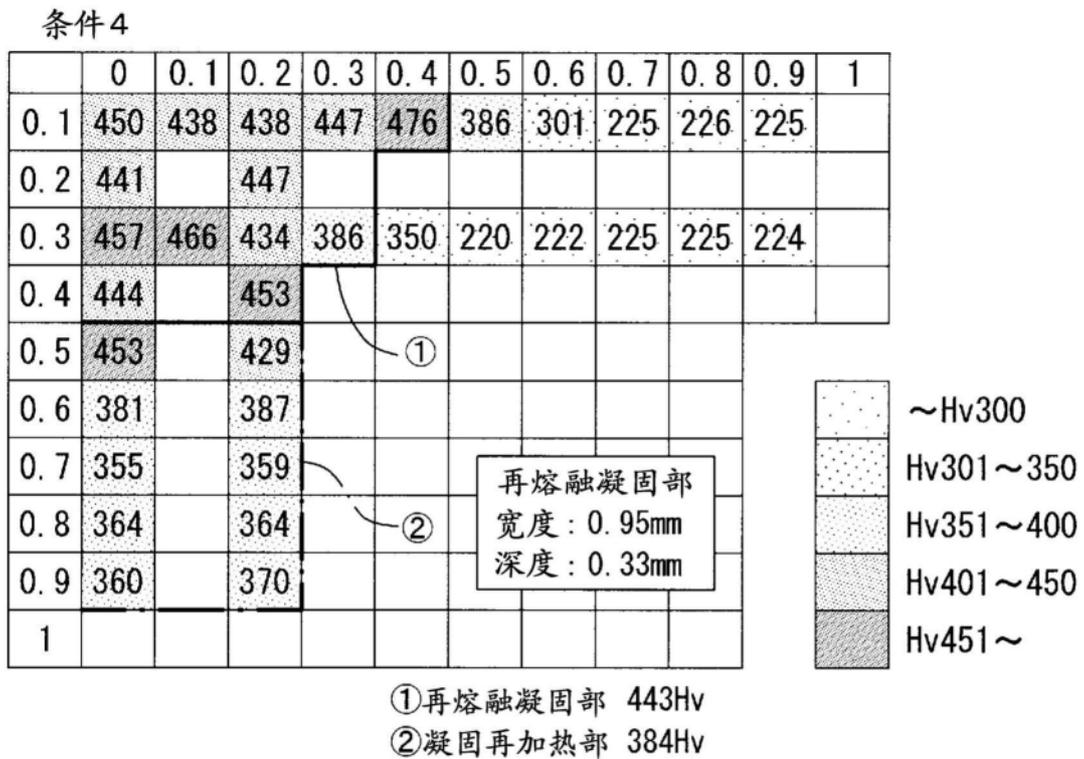


图11

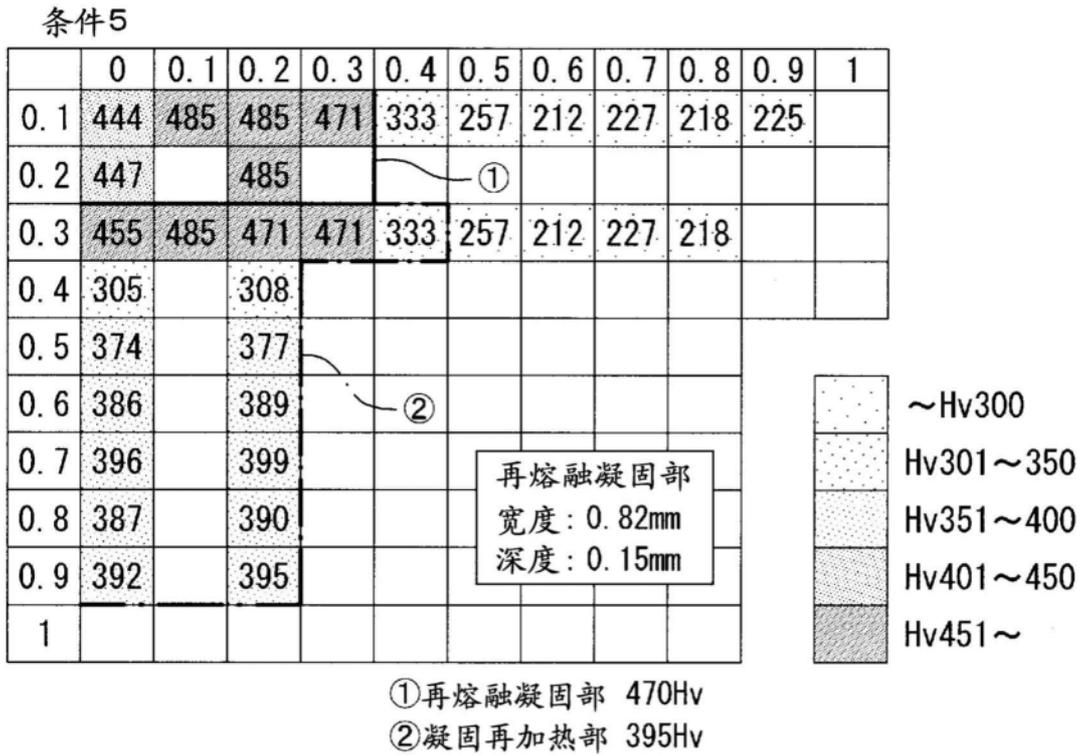


图12

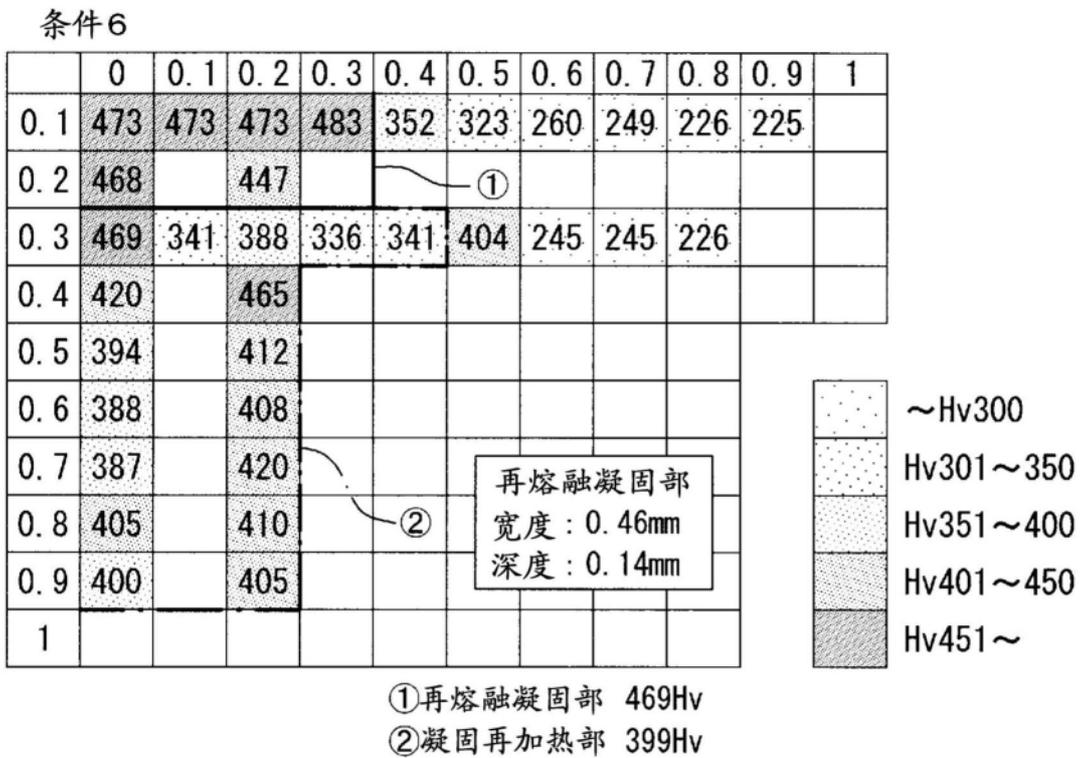


图13

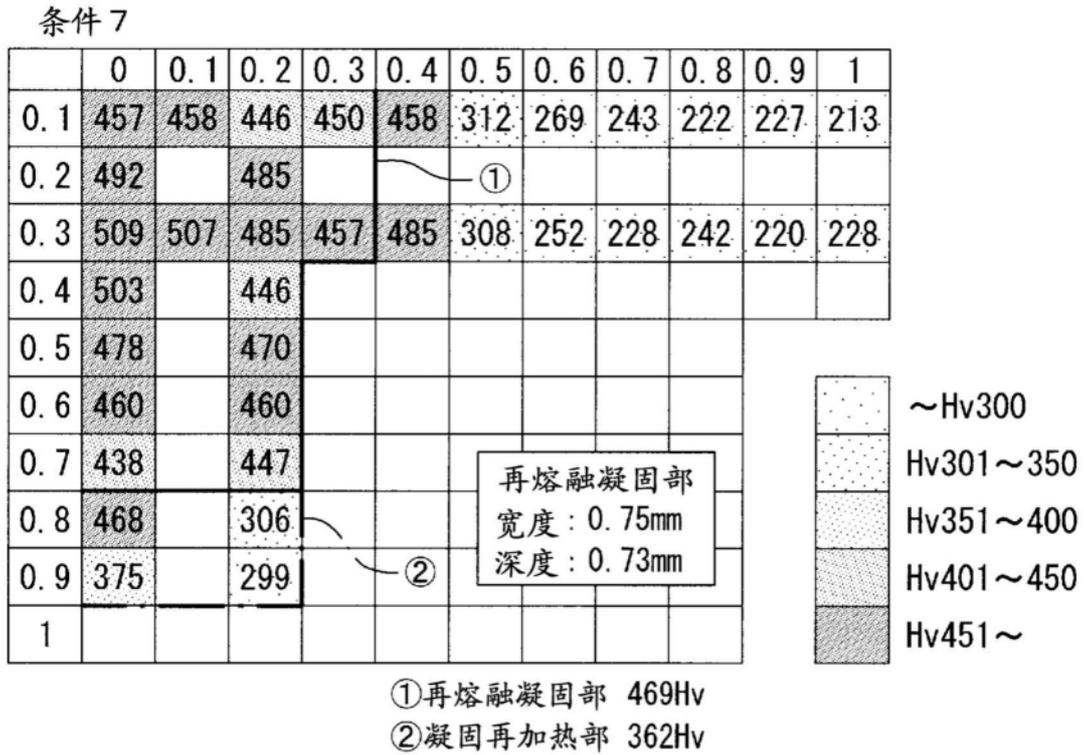


图14

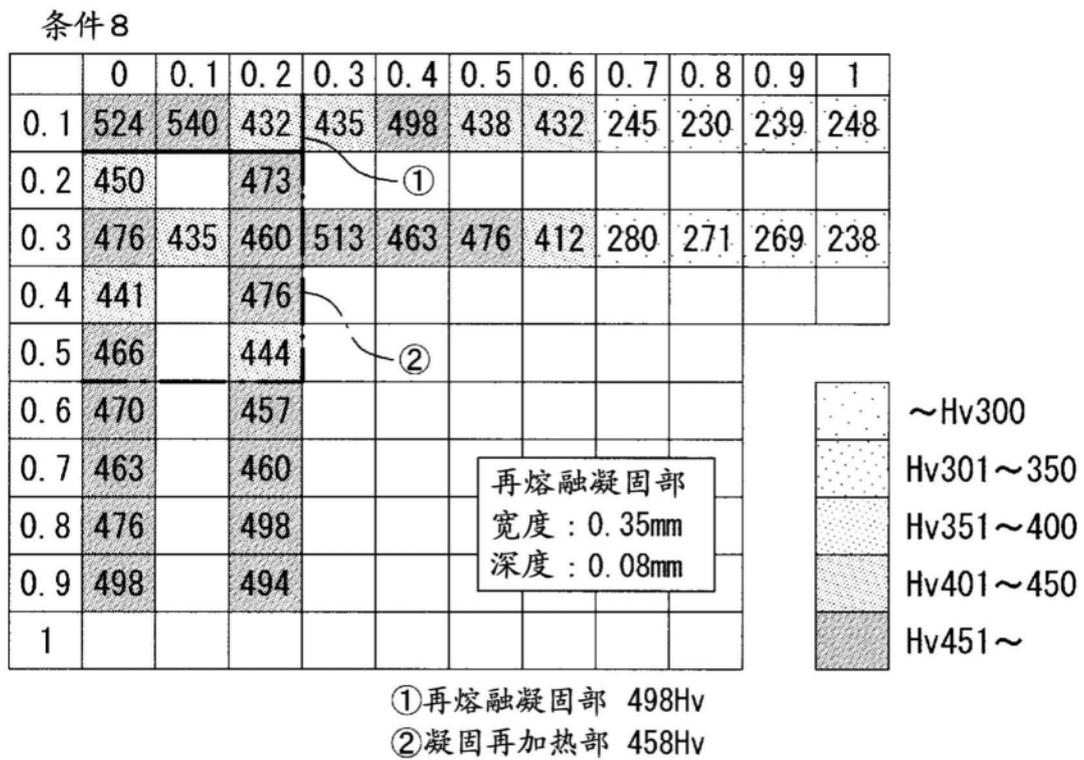


图15

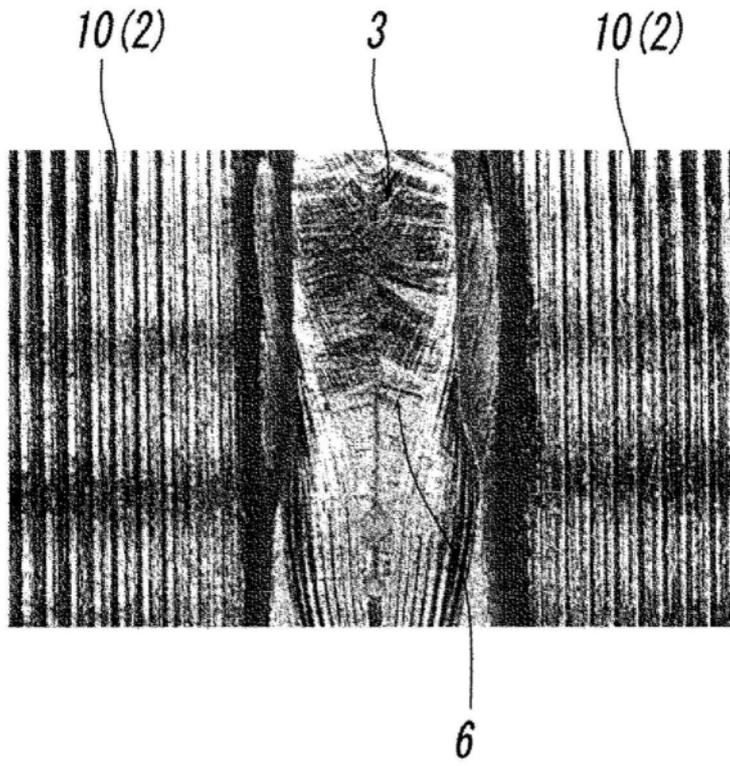


图16

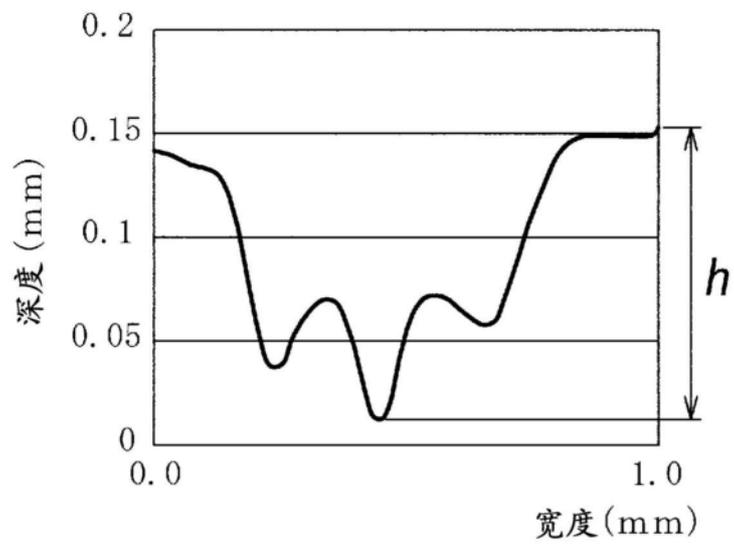


图17

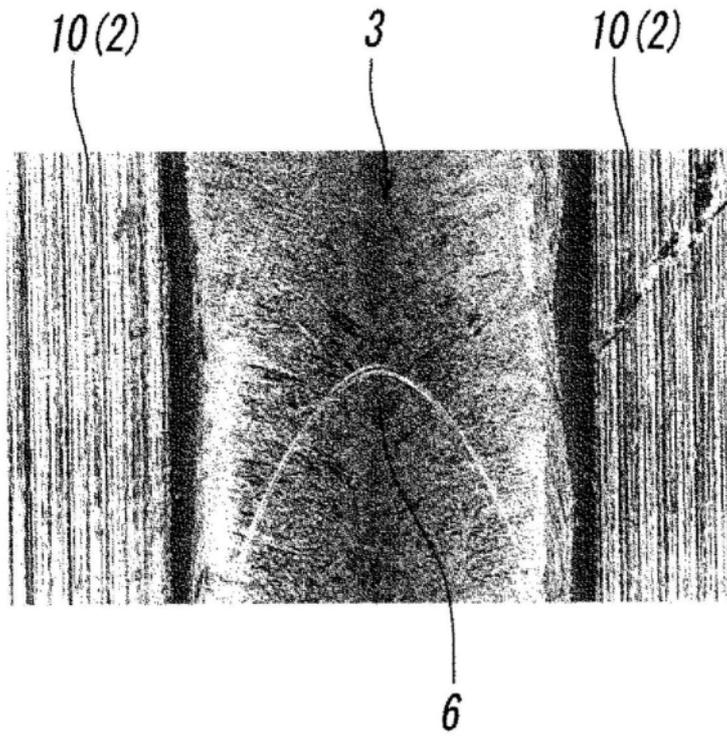


图18

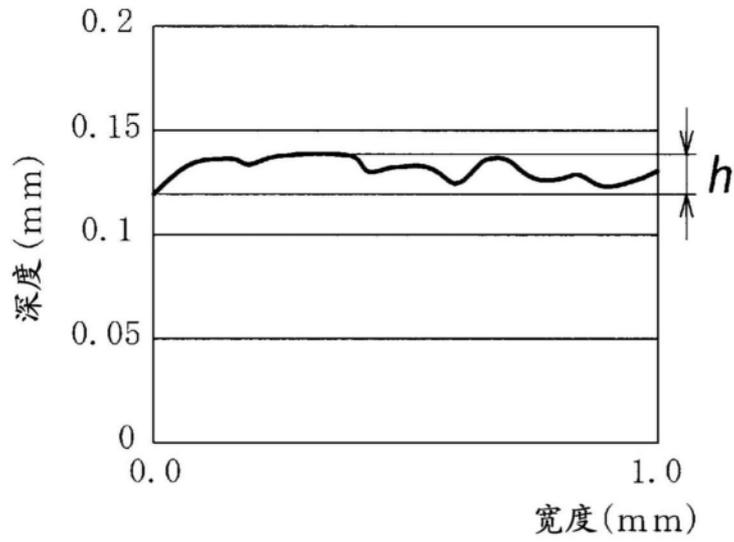


图19

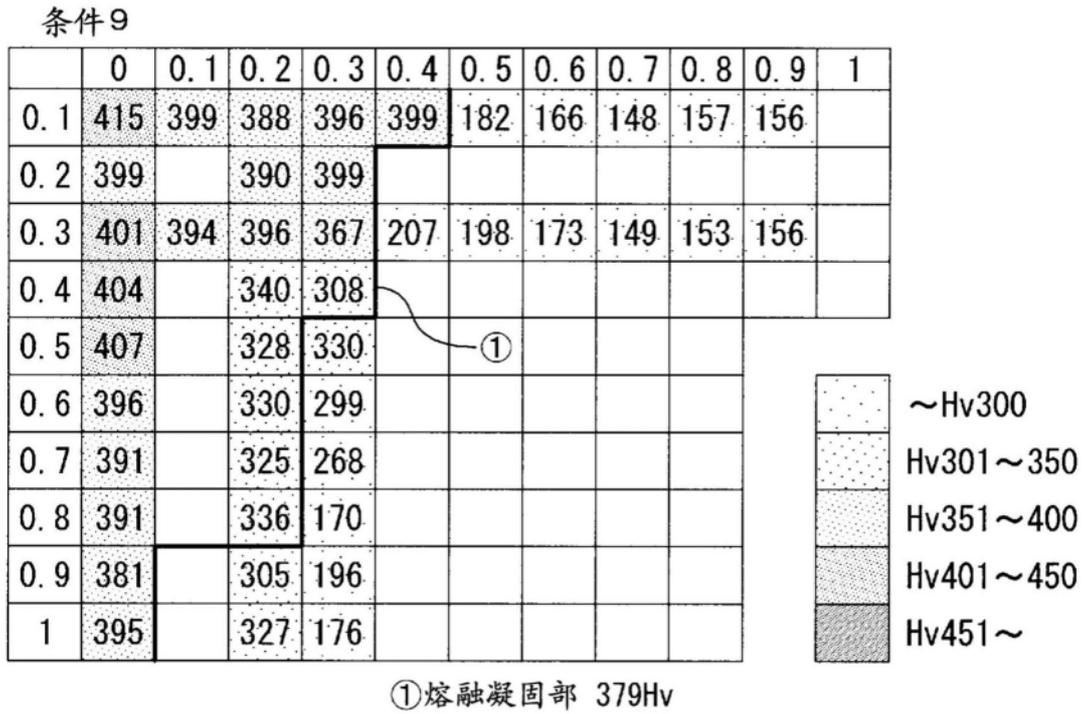


图20

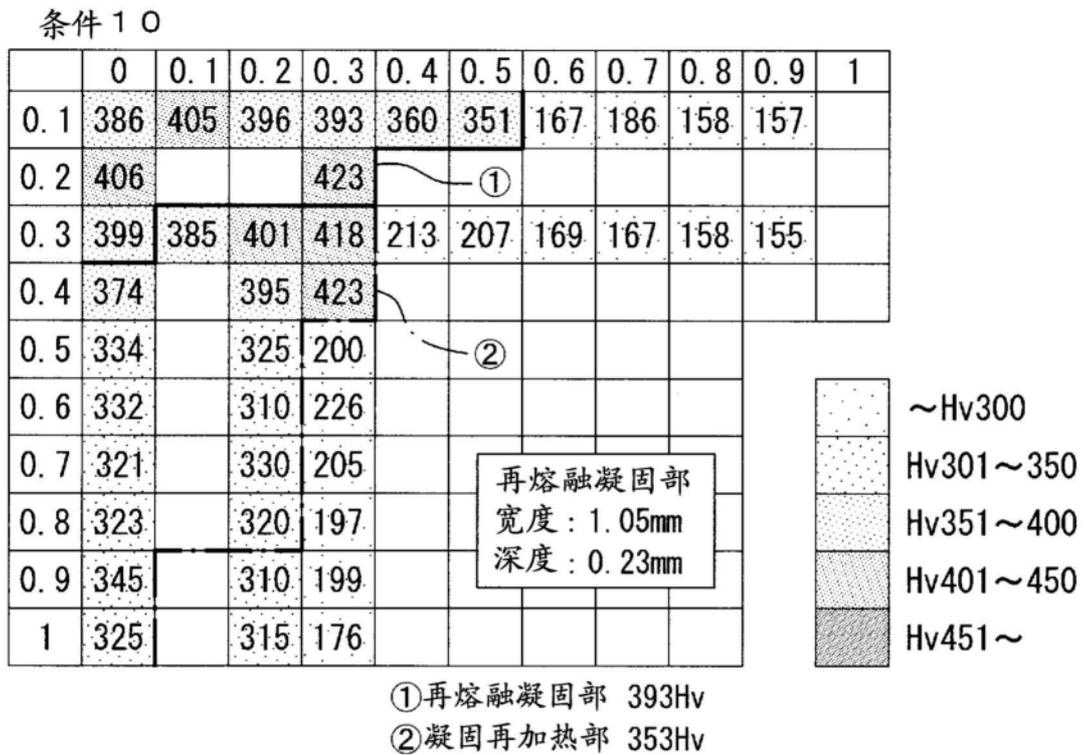


图21

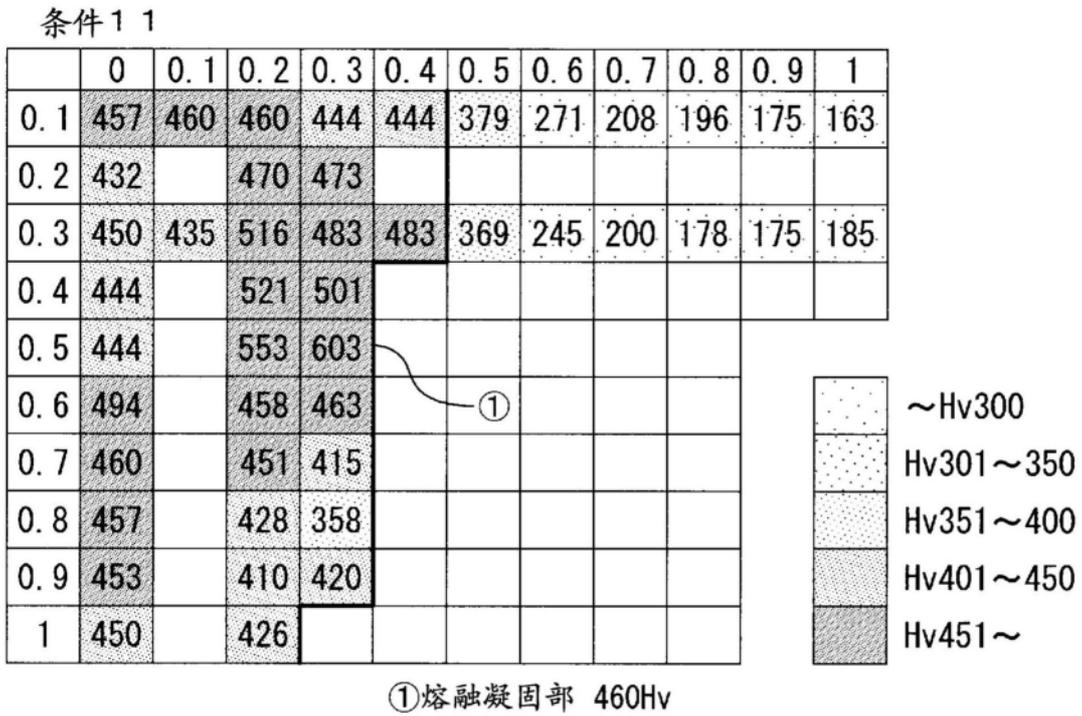


图22

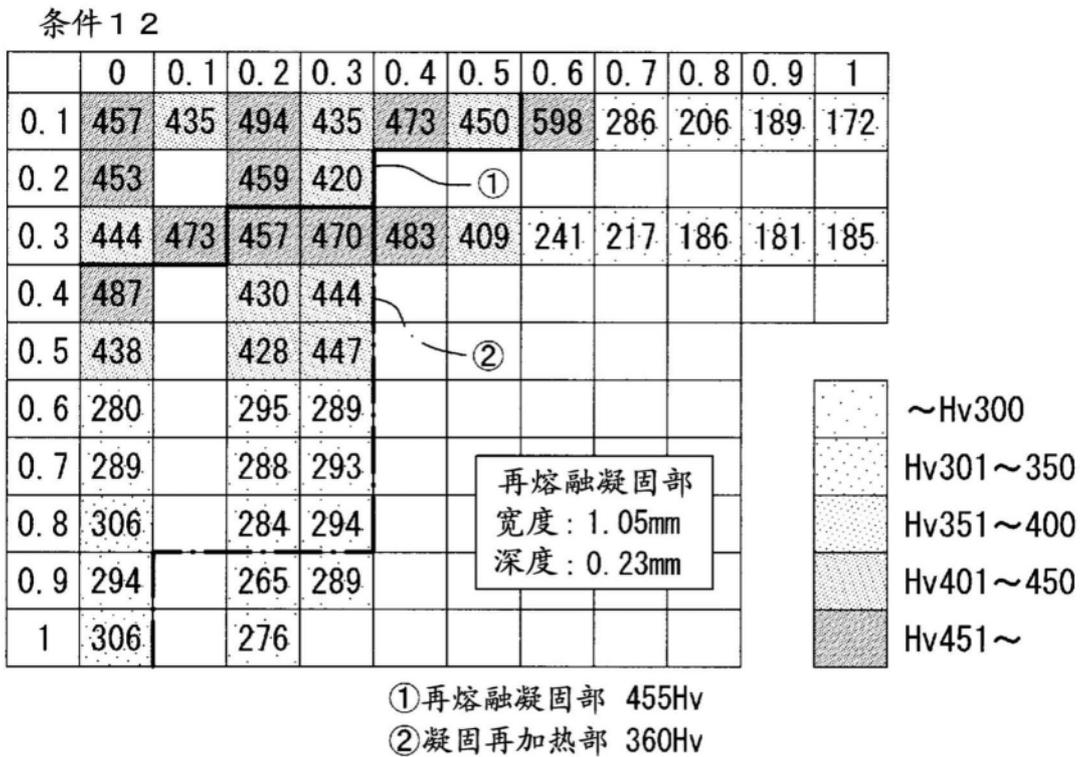
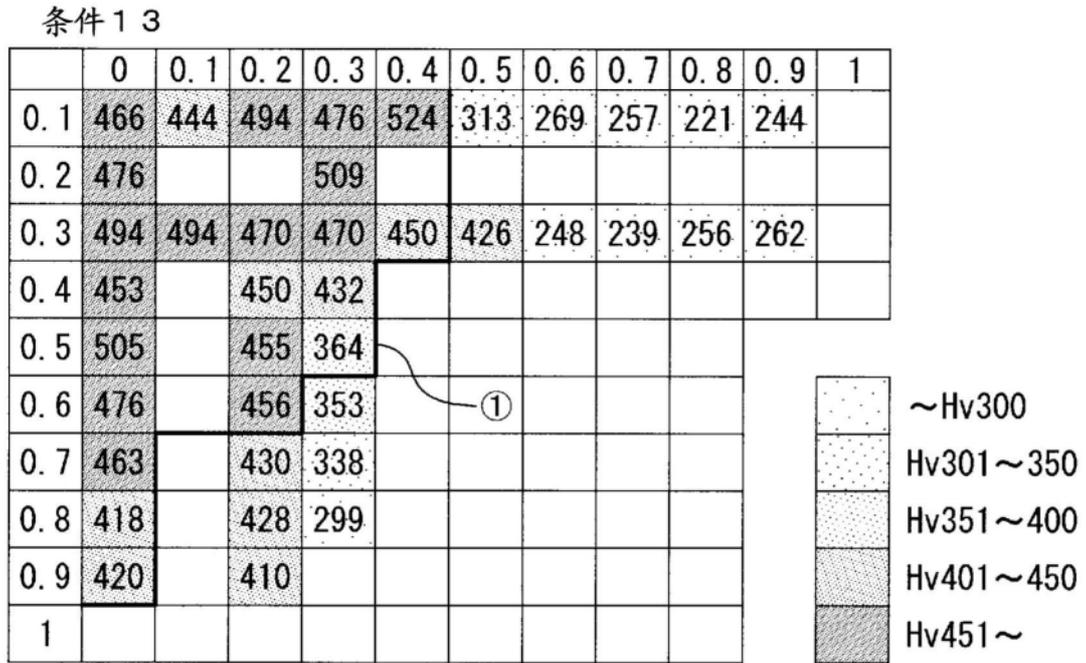
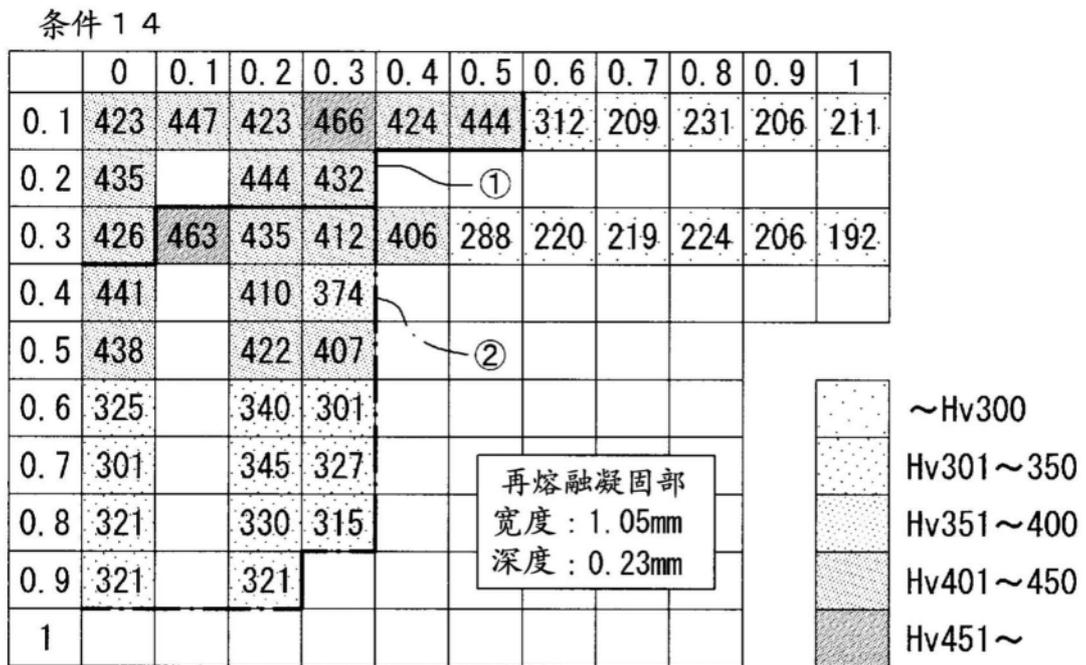


图23



① 熔融凝固部 463v

图24



① 再熔融凝固部 435Hv

② 凝固再加热部 365Hv

图25

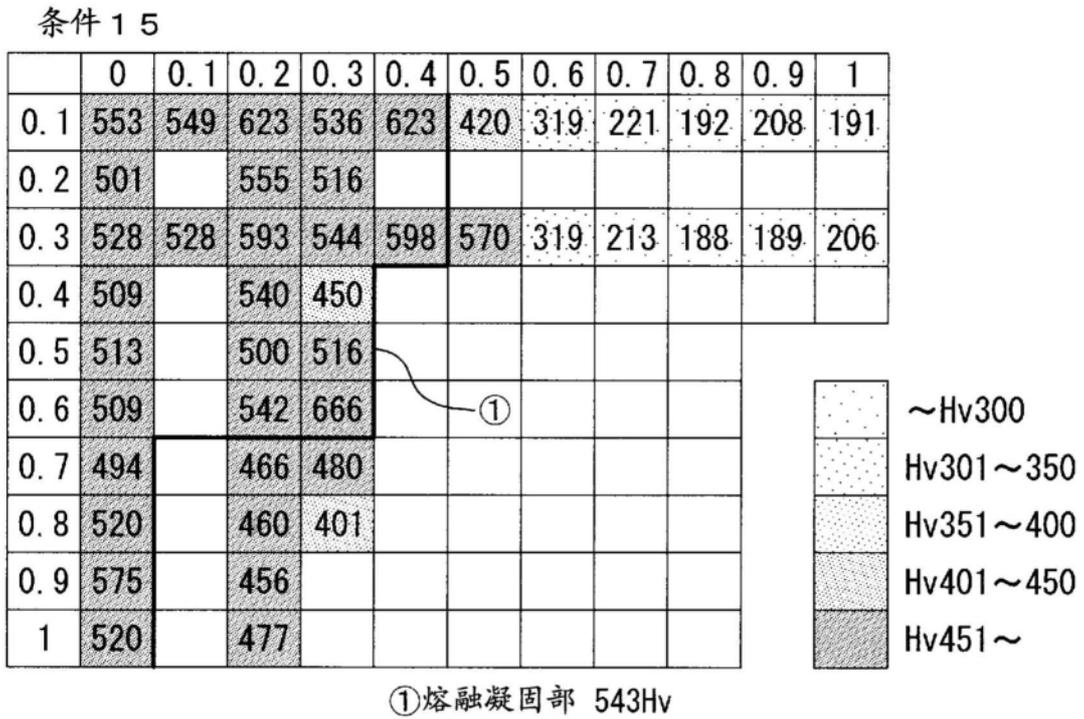


图26

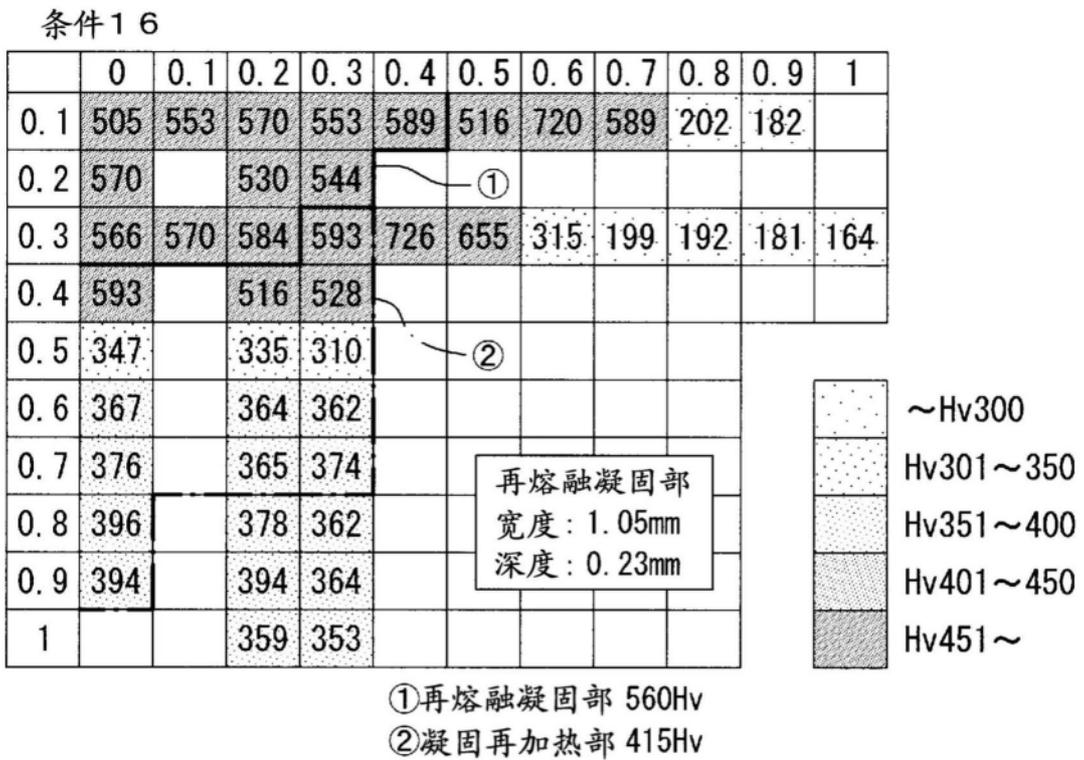


图27

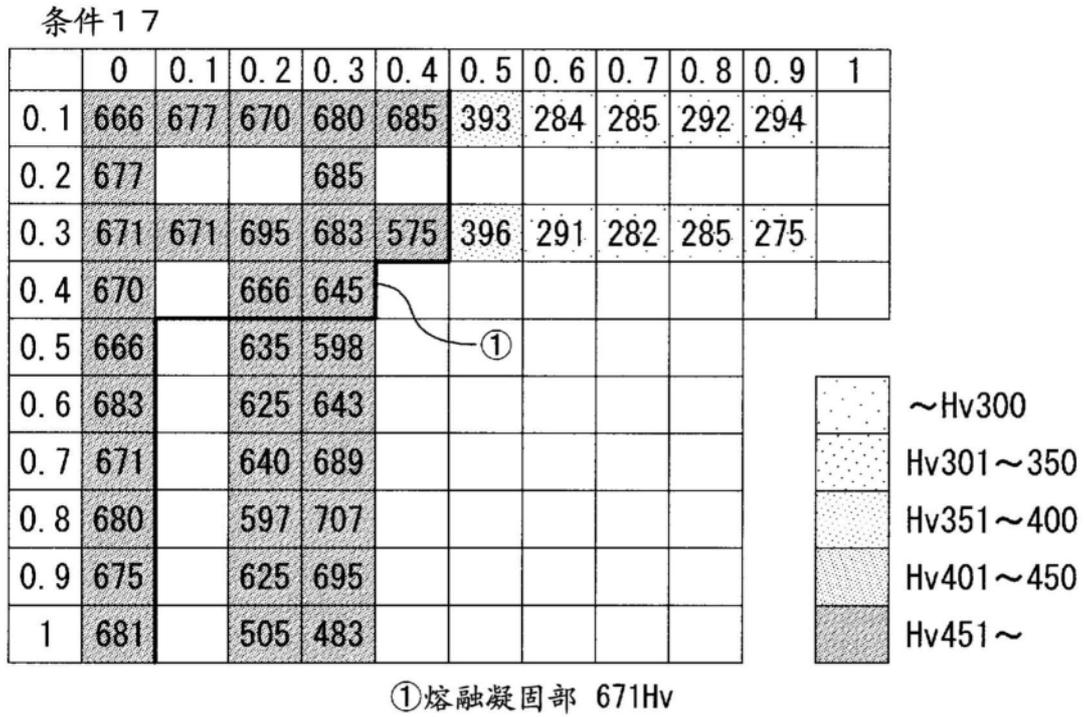


图28

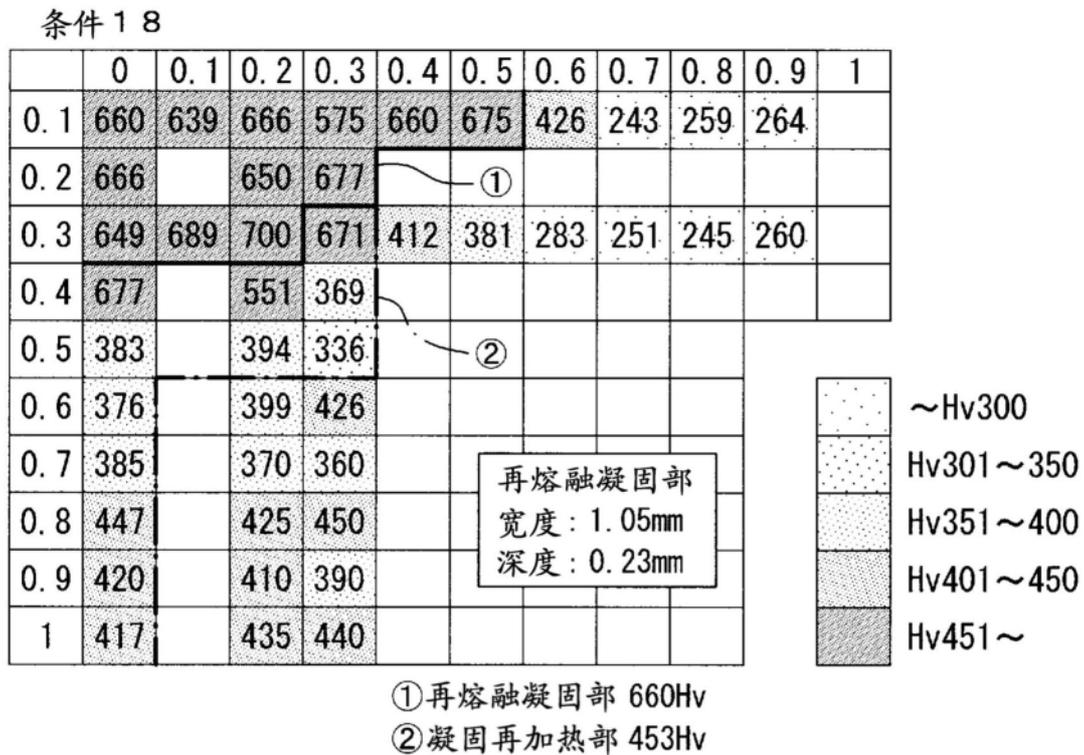


图29