(19) 国家知识产权局



(12)发明专利



(10) 授权公告号 CN 112334265 B (45) 授权公告日 2023.02.17

- (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.CI.

B23K 26/21 (2006.01) B23K 31/00 (2006.01) C22C 38/00 (2006.01) C22C 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

(22)申请日 2019.06.06

(21) 申请号 201980043078.2

- (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

(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 面 有0.46W0≦W1、0.14d0≦d1≦0.73d0的关系。

CN 112334265 B



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,

 $0.46 \le W1/W0 \le 0.95$

 $0.14d0 \le d1 \le 0.73d0$.

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d1具有下述关系,

 $0.32d1 \ge h_{\circ}$

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,

 $0.46 \le W1/W0 \le 0.95$

 $0.14d0 \le d1 \le 0.73d0$.

7.根据权利要求6所述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,

 $[0012] \quad 0.46W0 \leq W1$

[0013] 0.14d0 \leq d1 \leq 0.73d0.

[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,

 $[0017] \quad 0.32d1 \ge h_{\circ}$

[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,

 $[0020] \quad 0.46W0 \leq W1$

[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d0。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d0小的d1。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W0、该熔融凝固部3d的上述深度d0、再熔融凝固部5的宽度W1、该再熔融凝 固部5的上述深度d1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] 0.46W0 \leq W1 • • (1)

[0062] 0.14d0 \leq d1 \leq 0.73d0 • • • (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d1具 有下述关系,

[0065] 0.32d1 \geq h • • (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,但不限定于此,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。

							焊接	条件				;	客融发	國部形	狱
		试验	材质碳量		小孔式焊接	發条件			再熔融象	件		熔調 固 (m	中凝 部 m)	再熔寫 部尺▼	速凝固 f(mm)
[0075]		条件	wt%	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)	<mark>焦</mark> 点直 径(mm)	保护气体	宽 度 W0	深 度 d0	宽度 ₩1	深度 d1
[00/5]	比较例	1						-	-	-				-	-
[0075]	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	SCM415	950	50	0.5	廙	850	50	0.9	瘈	1		0.95	0.33
	实施例	5	CO. 15wt%	650	50	0.5	气	600	50	1.5	气	'	· ·	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

[0074] [表1]

[0076] 「表2]

							物性			
		瓜狸	残余	≷应力(M	Pa)	平均硬	度(Hv)	凝固终端部	疲劳强度	判定
		жн	A1	A2	A3	位置①	位置②	凹陷深度(mm)	(母材 260MPa)	
	比较例	1	135	288	152	461	-	0. 14	130	×
	实施例	2	-263	178	93	460	387	0. 01	360	0
[0077]	实施例	3	-218	240	125	468	372	0.05	350	0
	实施例	4	-282	205	115	443	384	0.06	300	0
	实施例	5	-100	262	120	470	395	0.03	300	0
	实施例	6	-290	293	194	469	399	0.03	290	0
	实施例	7	-188	250	130	469	362	-	270	0
	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)无接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高度高的数值。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,该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d1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(IS01143:2010)),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W0、该熔融凝固部3d的 深度d0、再熔融凝固部5的宽度W1、该再熔融凝固部5的深度d1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]

							1	焊接条	4				熔融凝	固部形	状
		3		ų	、孔式焊接	發条件			再炸	客融条件		熔融 部(凝固 mm)	再熔 部尺寸	融凝固 t(mm)
		1. 验条件	材质 碳量 wt%	激光输出(₩)	焊接 速度 (mm/s)	焦点直径(min)	保护气体	<u>激</u> 光 输出 (W)	焊接 速度 (mm/ s)	焦点 直径 (mm)	保护 气体	宽 度 WO	深 度 d0	宽 度 W1	深度 d1
[0001]	比较例	9	\$10C					-	-	-				-	-
[0091]	实施例	10	CO. 1wt%					850	50	1.5				1.05	0.23
	比较例	11	\$15C]				-	-	-				-	-
	实施例	12	CO. 15wt%					850	50	1.5				1.05	0.23
	比较例	13	\$20C]			氮	-	-	-				-	-
-	实施例	14	CO. 20wt %	850	50	0.5	气	850	50	1.5	ア展	1	1	1.05	0.23
	比较例	15	\$25C]				-	-	-				-	-
	实施例	16	CO. 25wt %					850	50	1.5				1.05	0. 23
	比较例	17	\$35C]				-	-	-				-	-
	实施例	18	CO. 35wt %					850	50	1.5				1.05	0. 23

[0092] 「表4]

		-BTA					物性				전 누구 25 약
		认短	残余	立力(MP	a)	平均硬度	€(Hv)	凝固终端部	疲劳强度	判定	
		жп	A1	A2	A3	位置①	位置②	凹陷深度(mm)	(MPa)		(mra/
	比较例	9	-179	139	107	379	-	0.1	240	0	200
	实施例	10	-209	110	95	393	353	0. 05	260	0	200
	比较例	11	-44	237	159	460	-	0.1	170	×	230
[0093]	实施例	12	-363	211	140	455	360	0. 05	260	0	230
	比较例	13	-20	213	139	463	-	0.1	180	×	260
	实施例	14	-322	225	130	435	365	0. 05	330	0	200
	比较例	15	-44	258	151	543	-	0. 1	290	0	270
	实施例	16	-328	274	149	560	415	0. 05	310	0	270
	比较例	17	-189	213	95	671	-	0.1	370	0	220
	实施例	18	-165	277	134	660	453	0. 05	400	0	330

[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=0.05mm、d1=0.23mm。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的各材料无接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2



附

冬

(b)





图4





图6



	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1	
0.1	490	480	485	470	429	348	351	660	234	225		
0. 2	495		485		454	660	349	260				
0.3	497	441	468	450	480	289	264					
0.4	485		457									
0.5	480		404		-1							
0.6	470		430									∼Hv300
0.7	460		420									Hv301~350
0.8	450		440									Hv351~400
0.9	455		444									Hv401~450
1												Hv451~

①溶融凝固部 461Hv

图8

条件2

	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.	9	1	
0.1	479	460	460	465	460	412	376	336	253	22	5		
0.2	480		458										
0.3	453	473	458	473	327	271	237	232					
0.4	492		432										
0.5	318		412		-1								
0.6	365		347							1			~Hv300
0.7	367		370	ì		I	手熔融	凝固	部	1			Hv301~350
0.8	373		396	È.	-2	宽	度:	1.05m	m	1			Hv351~400
0.9	385		405			深	度:(0. 23m	m	1			Hv401~450
1													Hv451~

①再熔融凝固部 460Hv
 ②凝固再加热部 387Hv

	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1	
0. 1	460	470	463	473	473	447	339	248	235	225		
0. 2	463		476		$\overline{\ }$	-1						
0.3	498	498	460	371	329	281	260	221	222	226		
0.4	329		332									
0.5	345		323	6								
0.6	312		319		-2							∼Hv300
0.7	341		344			F		凝固	部			Hv301~350
0.8	351		340			宽	度:	1. 01m	m			Hv351~400
0.9	350		342			「深	度:(D. 16m	m			Hv401~450
1												Hv451~
0. 0 0. 9 1	350		342			- 深	度:(D. 16m	m			Hv401~4 Hv451~

1)再熔融凝固部 468Hv
 2)凝固再加热部 372Hv

图10

条件4

	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1	
0. 1	450	438	438	447	476	386	301	225	226	225		
0. 2	441		447									
0.3	457	466	434	386	350	220	222	225	225	224		
0.4	444		453									
0.5	453		429		-1							
0.6	381	-	387							1		∼ Hv300
0.7	355		359			再	熔融	凝固	部	1		Hv301~350
0.8	364		364		-2	宽	度:(0. 95m	m			Hv351~400
0.9	360		370			深	度:(0. 33m	m			Hv401~450
1												Hv451~

①再熔融凝固部 443Hv
 ②凝固再加热部 384Hv

图11

	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1	
0.1	444	485	485	471	333	257	212	227	218	225		
0. 2	447		485		(-1						
0.3	455	485	471	471	333	257	212	227	218			
0.4	305		308									
0.5	374		377	6								
0.6	386		389		-2							~Hv300
0.7	396		399			再	熔融	凝固-	部			Hv301~350
0.8	387		390			宽	度:(D. 82m	m			Hv351~400
0.9	392		395			深	〔度:(). 15m	m			Hv401~450
1												Hv451~

①再熔融凝固部 470Hv
 ②凝固再加热部 395Hv

图12

条件6

	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1	
0.1	473	473	473	483	352	323	260	249	226	225		
0. 2	468		447			-1						
0. 3	469	341	388	336	341	404	245	245	226			
0.4	420		465									
0. 5	394		412									
0.6	388		408							1		~Hv300
0.7	387		420	<u>\</u> .		再	熔融	凝固	部	1		Hv301~350
0.8	405		410		-2	宽	度:	D. 46m	m	1		Hv351~400
0.9	400		405			深	度:(0. 14 m	m	1		Hv401~450
1										1		Hv451~

①再熔融凝固部 469Hv
 ②凝固再加热部 399Hv

图13

	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1]
0.1	457	458	446	450	458	312	269	243	222	227	213	
0.2	492		485			-1						
0.3	509	507	485	457	485	308	252	228	242	220	228	
0.4	503		446									
0.5	478		470									
0.6	460		460									∼ Hv300
0.7	438		447			重		凝固	部			Hv301~350
0.8	468		306	5		宽	度:(D. 75m	m			Hv351∼400
0.9	375	-	299		-2	深	度:(0. 73m	m			Hv401∼450
1												Hv451~
										,	a state of the state of the	

①再熔融凝固部 469Hv
 ②凝固再加热部 362Hv

图14

条件8

	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1	
0.1	524	540	432	435	498	438	432	245	230	239	248	
0. 2	450		473		-1							
0.3	476	435	460	513	463	476	412	280	271	269	238	
0.4	441		476									
0.5	466		444		-2							
0.6	470		457							1		∼ Hv300
0.7	463		460			再	熔融	凝固音	部	1		Hv301∼350
0.8	476		498			宽	度:(). 35m	m	1		Hv351~400
0.9	498		494			深	度:(0. 08m	m]		Hv401~450
1]		Hv451~

①再熔融凝固部 498Hv
 ②凝固再加热部 458Hv

图15







图17







图19

冬件9	
ホロ	

	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1	
0.1	415	399	388	396	399	182	166	148	157	156		
0. 2	399		390	399								
0.3	401	394	396	367	207	198	173	149	153	156		
0.4	404		340	308	5							
0.5	407		328	330		-1						
0.6	396		330	299								∼Hv300
0.7	391		325	268								Hv301~350
0.8	391		336	170								Hv351~400
0.9	381		305	196								Hv401~450
1	395		327	176								Hv451~

①熔融凝固部 379Hv

图20

条件10

	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1	
0.1	386	405	396	393	360	351	167	186	158	157		
0. 2	406			423		-1						
0.3	399	385	401	418	213	207	169	167	158	155		
0.4	374		395	423	Ь							
0.5	334		325	200	. `	-2						
0.6	332		310	226						1		∼ Hv300
0.7	321		330	205		再	熔融	凝固-	部]		Hv301~350
0.8	323		320	197		宽	度:	1.05m	m]		Hv351~400
0.9	345		310	199		深	【度:(0. 23m	m			Hv401~450
1	325		315	176								Hv451~

①再熔融凝固部 393Hv

②凝固再加热部 353Hv

	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1	
0. 1	457	460	460	444	444	379	271	208	196	175	163	
0. 2	432		470	473								
0.3	450	435	516	483	483	369	245	200	178	175	185	
0.4	444		521	501								
0. 5	444		553	603	5							
0.6	494		458	463		-1						∼ Hv300
0. 7	460		451	415								Hv301~3
0.8	457		428	358								Hv351~4
0.9	453		410	420								Hv401~4
1	450		426									Hv451~

图22

条件12

	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1	
0. 1	457	435	494	435	473	450	598	286	206	189	172	
0. 2	453		459	420		-1						
0.3	444	473	457	470	483	409	241	217	186	181	185	
0.4	487		430	444	6							
0.5	438		428	447	· _	-2						
0.6	280		295	289								∼Hv300
0.7	289		288	293		Į	「熔融	凝固	部	1		Hv301~350
0.8	306		284	294		宽	度:	1.05m	m			Hv351~400
0.9	294		265	289		深	【度:(0. 23m	m			Hv401~450
1	306		276									Hv451~

①再熔融凝固部 455Hv
 ②凝固再加热部 360Hv

图23

	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1	
0.1	466	444	494	476	524	313	269	257	221	244		
0. 2	476			509								
0.3	494	494	470	470	450	426	248	239	256	262		
0.4	453		450	432								
0.5	505		455	364	5							
0.6	476		456	353		-1						~Hv300
0.7	463		430	338						1		Hv301~350
0.8	418		428	299								Hv351~400
0.9	420		410									Hv401~450
1												Hv451~

①熔融凝固部 463v

图24

条件14

	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1	
0. 1	423	447	423	466	424	444	312	209	231	206	211	
0. 2	435		444	432		-1						
0.3	426	463	435	412	406	288	220	219	224	206	192	
0.4	441		410	374	6							
0.5	438		422	407	. `	-2						
0.6	325		340	301						1		∼Hv300
0.7	301		345	327		I	「熔融	凝固者	部 	1		Hv301~350
0.8	321		330	315		宽	度:	1.05m	m			Hv351~400
0.9	321		321			深	度:(0. 23m	m	1		Hv401~450
1										1		Hv451~
			1				1				Company, and Calif. 2010 (2010)	

①再熔融凝固部 435Hv ②凝固再加热部 365Hv

图25

	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1	
0.1	553	549	623	536	623	420	319	221	192	208	191	
0. 2	501		555	516								
0.3	528	528	593	544	598	570	319	213	188	189	206	
0.4	509		540	450								
0.5	513		500	516	5							
0.6	509		542	666	1	-1				1		~Hv300
0.7	494		466	480						1		Hv301~350
0.8	520		460	401								Hv351~400
0.9	575		456							1		Hv401~450
1	520		477									Hv451~

①熔融凝固部 543Hv

图26

条件16

	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1	
0.1	505	553	570	553	589	516	720	589	202	182		
0. 2	570		530	544	/	-1						
0.3	566	570	584	593	726	655	315	199	192	181	164	
0.4	593		516	528	5							
0.5	347		335	310	. \	-2						
0.6	367		364	362								∼ Hv300
0.7	376		365	374		再	熔融	凝固	部			Hv301~350
0.8	396		378	362		宽	度:	1.05m	m			Hv351∼400
0.9	394		394	364		深	医:(0. 23m	m			Hv401∼450
1			359	353								Hv451~

①再熔融凝固部 560Hv

②凝固再加热部 415Hv

条	件17	7										
	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1	
0.1	666	677	670	680	685	393	284	285	292	294		
0. 2	677			685								
0.3	671	671	695	683	575	396	291	282	285	275		
0.4	670		666	645	5							
0.5	666		635	598		-1						
0.6	683		625	643								~ Hv300
0.7	671		640	689								Hv301~35
0.8	680		597	707								Hv351~40
0.9	675		625	695								Hv401~45
1	681		505	483								Hv451~

①熔融凝固部 671Hv

图28

条件18

	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1	
0. 1	660	639	666	575	660	675	426	243	259	264		
0. 2	666		650	677	$\overline{)}$	-1						
0.3	649	689	700	671	412	381	283	251	245	260		
0.4	677		551	369	Ь							
0.5	383		394	336	· ` `	-2						
0.6	376		399	426]		∼Hv300
0.7	385		370	360		「再	熔融	凝固	部	1		Hv301~350
0.8	447		425	450		宽	度:	1.05m	m]		Hv351~400
0.9	420		410	390	-	深	〔度:(0. 23m	m	1		Hv401~450
1	417		435	440								Hv451~

①再熔融凝固部 660Hv

②凝固再加热部 453Hv