



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102665994 B

(45) 授权公告日 2015. 04. 01

(21) 申请号 201080048430. 0

(22) 申请日 2010. 10. 26

(30) 优先权数据

2009-251071 2009. 10. 30 JP

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2012. 04. 26

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/JP2010/068927 2010. 10. 26

(87) PCT国际申请的公布数据

W02011/052562 JA 2011. 05. 05

(73) 专利权人 新日铁住金株式会社

地址 日本东京

(72) 发明人 才田健二 福地弘 堤泰伸

(74) 专利代理机构 永新专利商标代理有限公司

72002

代理人 张楠 陈建全

(51) Int. Cl.

B23K 11/04(2006. 01)

B23K 11/16(2006. 01)

E01B 11/50(2006. 01)

E01B 29/44(2006. 01)

B23K 101/26(2006. 01)

B23K 103/04(2006. 01)

(56) 对比文件

JP 2007-289970 A, 2007. 11. 08,

JP 2006-55863 A, 2006. 03. 02,

JP 1-224169 A, 1989. 09. 07,

CN 1257768 A, 2000. 06. 28,

JP 10-225775 A, 1998. 08. 25,

JP 2-307682 A, 1990. 12. 20,

JP 9-267183 A, 1997. 10. 14,

JP 52-104439 A, 1997. 09. 01,

审查员 曲霞

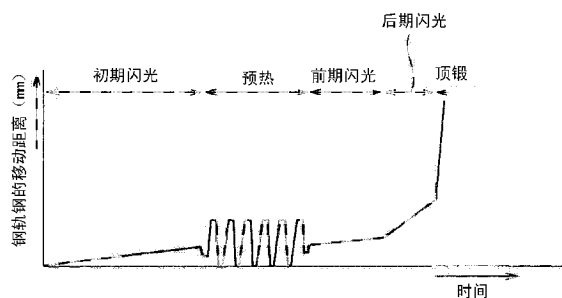
权利要求书1页 说明书13页 附图8页

(54) 发明名称

钢轨钢的闪光对焊方法

(57) 摘要

本发明涉及一种焊接方法,其是将一对轨道用钢轨钢之间进行闪光对焊的方法,其具备下述工序:预热工序,其在使一对所述轨道用钢轨钢的焊接面彼此间强制地接触的状态下,使电流流通规定时间,通过电阻发热对所述焊接面附近进行加热;前期闪光工序,其在所述焊接面中部分地产生闪光的同时,通过所述闪光的电阻发热和电弧发热将所述焊接面加热;和后期闪光工序,其在所述焊接面的整面进一步产生所述闪光的同时,通过所述闪光的电阻发热和电弧发热,对所述焊接面整面均匀地进行加热;其中,所述后期闪光工序中的后期闪光速度为 2.1mm/秒~2.8mm/秒。



1. 一种闪光对焊方法,其特征在于,其是将一对轨道用钢轨钢之间进行闪光对焊的方法,其具备下述工序:

初期闪光工序,其通过对一对所述轨道用钢轨钢施加电压,并使两者的端面即焊接面逐渐接近,局部地流通短路电流,通过电阻发热将所述焊接面加热使其熔融,进而,在所述焊接面中产生闪光的同时,通过所述闪光的电阻发热和电弧发热将所述焊接面加热,

预热工序,其在使所述焊接面彼此间强制地接触的状态下,使电流流通规定时间,通过电阻发热对所述焊接面附近进行加热,

前期闪光工序,其在所述焊接面中部分地产生所述闪光的同时,通过所述闪光的电阻发热和电弧发热将所述焊接面加热,和

后期闪光工序,其在所述焊接面的整面进一步产生所述闪光的同时,通过所述闪光的电阻发热和电弧发热,对所述焊接面整面均匀地进行加热;

其中,所述后期闪光工序中的后期闪光速度为 $2.1\text{mm/秒} \sim 2.8\text{mm/秒}$ 。

2. 根据权利要求1所述的闪光对焊方法,其特征在于,所述后期闪光工序中的后期闪光留量为 $10\text{mm} \sim 60\text{mm}$ 。

3. 根据权利要求1所述的闪光对焊方法,其特征在于,所述后期闪光工序中的后期闪光留量在下式(1)的范围内, $60\text{mm} \geq \text{后期闪光留量} \geq 22.6 - 6 \times \text{每1秒的后期闪光工序的熔损量}$ 式(1)。

4. 根据权利要求1或2所述的闪光对焊方法,其特征在于,所述各轨道用钢轨钢以质量%计含有C: $0.85 \sim 1.20\%$ 。

5. 根据权利要求1或2所述的闪光对焊方法,其特征在于,将焊接接头部的热影响宽度规定为 27mm 以下,且将软化宽度规定为 10mm 以下。

6. 一种闪光对焊方法,其特征在于,其是将一对轨道用钢轨钢之间进行闪光对焊的方法,其具备下述工序:

预热工序,其在使一对所述轨道用钢轨钢的焊接面彼此间强制地接触的状态下,使电流流通规定时间,通过电阻发热对所述焊接面附近进行加热以后,4次以上重复拉开一对所述轨道用钢轨钢的过程,

前期闪光工序,其在所述焊接面中部分地产生闪光的同时,通过所述闪光的电阻发热和电弧发热将所述焊接面加热,和

后期闪光工序,其在所述焊接面的整面进一步产生所述闪光的同时,通过所述闪光的电阻发热和电弧发热,对所述焊接面整面均匀地进行加热;

其中,所述后期闪光工序中的后期闪光留量在下式(1)的范围内, $60\text{mm} \geq \text{后期闪光留量} \geq 22.6 - 6 \times \text{每1秒的后期闪光工序的熔损量}$ 式(1)。

7. 根据权利要求6所述的闪光对焊方法,其特征在于,所述后期闪光工序中的后期闪光速度为 $0.5\text{mm/秒} \sim 2.8\text{mm/秒}$ 。

8. 根据权利要求6或7所述的闪光对焊方法,其特征在于,所述轨道用钢轨钢以质量%计含有C: $0.85 \sim 1.20\%$ 。

9. 根据权利要求6或7所述的闪光对焊方法,其特征在于,将焊接接头部的热影响宽度规定为 27mm 以下,且将软化宽度规定为 10mm 以下。

钢轨钢的闪光对焊方法

技术领域

[0001] 本发明涉及钢轨钢的闪光对焊方法。特别是本发明涉及能够减小高碳过共析钢轨钢焊接部的热影响部、降低钢轨的不均匀磨损及表面损伤的钢轨钢的闪光对焊方法。

[0002] 本申请基于 2009 年 10 月 30 日在日本提出申请的特愿 2009-251071 号并主张其优先权,这里引用其内容。

背景技术

[0003] 闪光对焊作为钢铁材料的焊接方法已广泛普及。作为其特征,可列举出具有可自动化、品质稳定性高、焊接时间短等优点。

[0004] 采用图 1A ~ 图 1D 对闪光对焊方法的原理进行说明。

[0005] 首先,如图 1A 所示,分别对对置设置的作为被焊接材料的一对钢轨钢 1A、1B,从电源 3 通过电极 2 施加电压。与此同时,使钢轨钢 1A 沿箭头 4 方向移动,使钢轨钢 1A、1B 的成为焊接面的相互的端面逐渐接近。这样一来,局部地流通短路电流,通过电阻发热急速地进行加热,以至熔融。其结果是,一对钢轨钢 1A、1B 间通过熔融金属被桥接。在该桥接部,如图 1B 所示,产生电弧,熔融金属的一部分飞溅(闪光)。另外,在产生闪光的同时通过电阻发热和电弧发热将端面加热,连续地重复上述过程。将上述过程称为闪光工序。

[0006] 此外,图 1C 所示的工序是在以短时间对上述闪光工序中的钢轨钢 1A、1B 的端面整面进行热量输入为目的的工序,称为预热工序。在预热工序中,首先在使一对钢轨钢 1A、1B 强制地接触的状态下使大电流流通一定时间,利用电阻发热将端面附近加热。然后,多次重复拉开一对钢轨钢 1A、1B 的过程。

[0007] 预热工序为了有效地进行对焊接面的热量输入,得到缩短焊接时间的效果,采用与闪光工序组合的焊接方法。此外,由于闪光对焊在大气气氛下进行,因而在形成的熔融金属部生成大量氧化物。

[0008] 将闪光工序中使一对钢轨钢相互接近的速度称为闪光速度。此外将闪光工序中因钢轨钢接近,熔融金属飞溅而将被熔融物除去所形成的熔损量称为闪光留量。如果在对焊接面的热量输入不充分的状态下闪光速度变得过大,则不会产生电弧及熔融金属的飞溅,接触面积一下子增大,出现流通大电流,不连续地生成闪光的称为冷结(freezing)的现象。该冷结生成成为阻碍弯曲性能的要因的氧化物,因此需要尽可能地回避。为了不产生冷结,对焊接面的适当的热量输入与闪光速度的平衡是重要的。

[0009] 在通过闪光工序最终使焊接面的整面形成熔融状态后,如图 1D 所示,以大的加压力使钢轨钢 1A、1B 的焊接面相互间急速密合,将焊接面的大部分熔融金属排除到外部,对焊接面后方的被加热到高温的部分施加加压及变形,形成接合部。将上述过程称为顶锻工序。

[0010] 此时,焊接中生成的氧化物在被排出的同时被微细分散化,因而可降低作为阻碍弯曲性能的缺陷残留在接合面的可能性。

[0011] 通过顶锻工序被排出到接合面外的氧化物(焊道部)在后续工序中通过热剪切等

被除去。

[0012] 如此的闪光对焊由于各焊接工序可自动化、总焊接工序的合计焊接时间短到 1.5 ~ 4 分钟,焊接效率高,因此在钢轨领域作为工厂焊接法也被较多地采用。此外,通过使焊接装置紧凑化,还被用作轨道上的现场焊接。

[0013] 如上所述,闪光对焊是在通过加热将一对钢材端面熔化后,通过使端面相互间加压密合来接合一对钢材的技术。这里,闪光对焊中的被焊接材即钢材经过从室温加热到熔点的升温过程和其后的冷却过程,因而金属组织中产生变化。将如此的伴随着焊接的被焊接材的组织及硬度等机械性质的变质区称为热影响部 (HAZ)。

[0014] 在求出该 HAZ 的范围时,机械性质的变质区的确认需要硬度测定等费事的工序,因此多将通过微观及宏观观察可比较简易地识别为母材的范围称为 HAZ (非专利文献 1)。在本说明书中将通过后述的微观及宏观观察可识别为母材的范围称为 HAZ。

[0015] 采用高碳过共析钢的钢轨钢含有 0.85 ~ 1.20% 的 C,呈现珠光体组织。珠光体组织呈现将几乎不含碳的称为铁素体的纯铁相和称为渗碳体的碳化铁 (Fe_3C) 的层交替且致密地相互重叠而成的层状结构。在生成珠光体的过程中,相变能转换为铁素体和渗碳体的界面能,因而形成如此的层状组织。

[0016] 这里,呈现珠光体组织的钢轨钢的升温过程中的组织变化如下所述。

[0017] (1) 从室温到 500℃ 珠光体组织未变化。

[0018] (2) 超过 550℃ 时,开始降低层状组织的界面能的方向的结构的变化,即渗碳体的分割、球状化。此时温度越上升,渗碳体的球状化越进展。

[0019] (3) 珠光体组织开始从 Ac_1 相变点的 720℃ 附近向奥氏体组织的相变。其结果是,金属中存在铁素体、球状化了的渗碳体 (球状化渗碳体)、奥氏体三相共存的温度区。

[0020] (4) 如果温度进一步上升,则铁素体或渗碳体中的任一相消失,成为奥氏体和球状化渗碳体或奥氏体和铁素体的双相组织。

[0021] (5) 如果温度进一步上升,则成为奥氏体的单相组织。

[0022] (6) 如果温度进一步上升,超过熔点 (固相线温度),则在奥氏体组织中生成熔融相。

[0023] (7) 如果温度进一步上升,则完全熔融。

[0024] 在闪光对焊中,最高到达温度根据离焊接面的距离而不同。即,在焊接面达到熔点以上、但在距焊接面十分远的部分仍保持室温。也就是说,在呈现珠光体组织的钢轨钢的 HAZ 区域随着最高到达温度产生上述 (1) ~ (7) 中的任一项的组织变化。具体而言,从离焊接面十分远的部分,随着接近焊接面,形成为 (1) 珠光体区 (无变化)、(2) 球状化渗碳体区、(3) 奥氏体、铁素体、球状化渗碳体共存的三相区、(4) 奥氏体和铁素体或奥氏体和球状化渗碳体的双相区、(5) 奥氏体单相区、(6) 奥氏体相和熔融相混合存在的区域、(7) 完全熔融区。

[0025] 对于在升温过程中发生变化的这些组织,如果焊接的加热工艺结束,则通过冷却从各自的组织产生与温度下降相应的组织变化,与该组织变化相应地产生硬度分布。硬度分布因组织、成分而不同,但作为一例子,以下举出以重负荷铁道用的母材硬度为 Hv420 水平的高强度钢轨钢的情况为例进行说明。

[0026] (1) 珠光体区 (在升温过程中没有受到组织变化的部分) 在冷却后也为原来的组

织,没有变化。

[0027] (2) 在球状化渗碳体区,球状化渗碳体以其原状态被冷却,即使在室温也呈现球状化组织。球状化渗碳体组织的硬度低,为 Hv300 左右。也就是说,在升温过程中,渗碳体的球状化随着最高到达温度上升而进展,因而越靠近焊接面球状化渗碳体越较多地存在。因此,在球状化渗碳体区,在冷却过程中越靠近焊接面越软化。

[0028] (3) 奥氏体、铁素体、球状化渗碳体共存的三相区随着温度下降,奥氏体相变成珠光体,但球状化渗碳体直接被冷却到室温。随着最高到达温度上升,奥氏体相比比例增加,冷却后成为珠光体的分率增加,因此越靠近焊接面硬度越回复。球状化渗碳体组织的硬度低,为 Hv300 左右。

[0029] (4) 铁素体和奥氏体、或奥氏体和渗碳体的双相区在冷却时奥氏体相变成珠光体组织。随着最高到达温度上升,奥氏体相比比例增加,冷却后成为珠光体的分率增加,因此越靠近焊接面硬度越回复。

[0030] (5) 在奥氏体单相区,奥氏体相变成珠光体组织。该区域的硬度大致恒定。

[0031] (6) 在熔融相存在的奥氏体区,首先液相凝固成为奥氏体,因而为奥氏体单相,然后相变成珠光体组织。该区域的硬度大致恒定。

[0032] (7) 熔融区首先凝固成为奥氏体单相,然后相变成珠光体组织。该区域的硬度大致恒定。

[0033] 如此,在从任意温度区开始冷却的部位,最终铁素体和渗碳体都形成层状组织的珠光体组织。可是,上述 (2) ~ (3) 的区域因包含球状化了的渗碳体组织而软化,与球状化渗碳体组织的分率相应地产生硬度变化。

[0034] 因此,在钢轨钢的焊接部产生硬度下降的软化部。如果软化部的钢轨长度方向长度较长,而且硬度下降显著,则因钢轨的头部上的车轮的通过,在软化部不均匀磨损加重,产生各种各样的问题。

[0035] 在专利文献 2 中示出被闪光对焊的珠光体钢的接头的焊接部硬度分布,在该文献中,HAZ 宽度为 42mm 左右,软化宽度为 25 ~ 30mm 左右。

[0036] 另一方面,在专利文献 3 中记载,在铁道钢轨中,如果软化宽度小于车轮和钢轨的接触区域范围,则难以产生不均匀磨损,另外,由于认为车轮和钢轨的接触区域为 15mm 左右,因此优选将比母材硬度低 Hv50 以上的软化宽度规定为 15mm 以下。

[0037] 图 2A 中示出通过以往的闪光对焊方法来焊接高碳过共析钢轨钢而形成的接头的焊接部的长度方向的宏观断面。图 2B 中示出图 2A 中所示的接头的焊接部附近的从钢轨表层到下方 5mm 位置的硬度分布。

[0038] 此外,焊接中采用利用 AC 电源的、变压器容量为 240kVA、顶锻负荷为 70kN 的闪光焊接机,将预热次数规定为 7 次,且将后述的图 3 所示的初期闪光工序和前期闪光工序的合计时间规定为 120 秒,将后期闪光工序中的后期闪光速度规定为 0.5mm/秒,将后期闪光留量规定为 3mm。

[0039] 从图 2A 及图 2B 得知,从宏观断面判断的 HAZ 边界比产生硬度变化的范围位于焊接部中央侧,位于硬度下降最多的位置的略微外侧。在图 2B 中,HAZ 宽度为 35mm,软化宽度为 19mm,为具有上述不均匀磨损的可能性的结果。

[0040] 再有,将软化宽度规定为低于母材硬度的范围。实际上,母材硬度也产生若干的偏

差,因而规定为低于(母材硬度的平均值 $-3\times$ 标准偏差)的范围。

[0041] 但是,关于焊接中央部,如专利文献1所示,如果进行热处理则可使其回复到与母材同等的硬度,因此规定为基本上不含在软化部中。再有,在不实施热处理或热处理的效果低、焊接中央部的硬度未满足母材硬度的情况下,在硬度分布的焊接中央部侧引出辅助线,将该线与上述(母材硬度的平均值 $-3\times$ 标准偏差)相交的范围规定为软化宽度。在图2B中,用此方法进行了求解,结果软化宽度为19mm。

[0042] 针对这样的闪光对焊部的软化的问题,提出了以下的技术。

[0043] 在专利文献3中,公开了通过在安装有垫板的状态下对钢轨进行闪光对焊,在焊接时通过垫板使钢轨的头部冷却的技术。垫板和钢轨的接触范围在钢轨的断面内至少包含钢轨的头顶面,头顶面上的接触范围的钢轨轴方向的长度为15mm以上。与垫板和头顶面接触的部分的厚度为10mm以上。垫板的钢轨端面侧的顶端位于距焊接前的钢轨端面20mm~50mm的部位。示出如果采用该技术,则能够使比母材硬度低Hv50以上的长度方向的宽度在15mm以下。

[0044] 在专利文献4中,示出了在将热轧用钢坯从钢坯加热炉取出后,在供给第1轧机的期间利用交流电源的闪光焊接机进行焊接时,后期闪光留量的范围为2~8mm,后期闪光速度的范围为1~4mm/秒的例子。

[0045] 这里,将后期闪光速度规定为(总闪光留量-前期闪光留量)/(总闪光时间-前期闪光时间)。

[0046] 在专利文献5中示出了金属材料的连续轧制方法,其是通过闪光对焊将先行的被轧制材的后端与后行的被轧制材的顶端接合,接着利用下游的轧机列连续地轧制,形成金属成品材的金属材料的连续轧制方法,其特征在于:以满足下式(2)的方式设定闪光量Y(闪光留量),进行接合。

[0047] $0.1D \leq Y < 0.30D$ 式(2)

[0048] 这里,Y为闪光量(闪光留量)(mm)、D为被轧制材的粗度(mm),闪光量(闪光留量)为在闪光对焊中被电弧熔化除去的长度的合计。

[0049] 在非专利文献2中,作为通过钢轨的闪光对焊得到品质良好的闪光对焊接头的方法,示出了急速提高顶锻临前的闪弧(闪光)速度,使对接端面平坦、光滑的方法。具体而言,示出了只要最终闪弧(闪光)速度为1.0~1.25mm/秒就可以。此时的闪光留量记为3mm。

[0050] 现有技术文献

[0051] 专利文献

[0052] 专利文献1:日本特开平06-145791号公报

[0053] 专利文献2:日本特开2001-152291号公报

[0054] 专利文献3:日本特开2007-289970号公报

[0055] 专利文献4:日本特开昭53-007559号公报

[0056] 专利文献5:日本特开2002-346611号公报

[0057] 非专利文献

[0058] 非专利文献1:日刊工業新聞社 溶接冶金学

[0059] 非专利文献2:溶接学会軽構造接合加工研究会編 抵抗溶接現象とその応用

(IV)

发明内容

[0060] 发明所要解决的问题

[0061] 如上所述,在钢轨焊接部产生硬度下降的软化部。如果软化部的钢轨长度方向长度较长,而且硬度下降显著,则因钢轨的头部上的车轮的通过,在软化部使不均匀磨损加重,有时成为噪音振动的原因。此外,如果不均匀磨损增大,则在车轮通过时有时对钢轨的冲击增大。

[0062] 可是,对于软化部的发生,在上述现有技术中,存在以下的问题。

[0063] 如专利文献 3 所示,由于认为车轮和钢轨的接触区域为 15mm 左右,因此如专利文献 2 所述,在 HAZ 宽度为 42mm 左右、软化宽度为 25 ~ 30mm 左右时,在软化部不均匀磨损加重,车轮通过时对钢轨的冲击容易增大。

[0064] 此外,如专利文献 3 所示,由于安装垫板的方法需要将另外准备的垫板安装在指定的范围,因此必须在焊接前新设垫板的安装工序。此外,由于非常接近对接端面地飞溅的熔融金属粘着在垫板上,因而去除粘着的闪光需要费时。而且,垫板的装卸也不容易,因而有对自动化的、焊接效率高的闪光对焊的优点产生损害的问题。

[0065] 此外,在专利文献 4 中,示出将后期闪光速度规定为 1 ~ 4mm/ 秒的范围,但被焊接材是从加热炉取出的高温加热钢坯,是在对接端面及其以外的部分都只能在十分高的温度条件下适用的技术。在该条件下,容易发生闪光,难以产生冷结。此外,该条件也是容易加快闪光速度的条件,因此不能适用于从常温状态对钢轨进行加热的本课题。

[0066] 此外,在重负荷用钢轨的情况下,与钢轨长度方向垂直的截面积为 8500mm²以上。在此种情况下,在专利文献 5 中,闪光留量在 5mm ~ 16mm 的范围。但是,专利文献 5 中的被焊接材是将从加热炉取出的钢方坯等金属原料型材或将该金属原料型材轧制为规定尺寸的金属坯料作为被轧制材的。该技术涉及通过闪光对焊在轧制线内对先行的被轧制材和后行的被轧制材进行接合,接着用下游的轧机列进行连续轧制的金属材料的连续轧制方法。也就是说,与专利文献 4 同样,是在对接端面及其以外的部分都只能在十分高的温度条件下应用的技术,不适用于从常温状态对钢轨进行加热的本课题。

[0067] 在非专利文献 2 中,虽然是钢轨的闪光对焊方法,但为讨论重点在于弯曲性能的记述内容,而且最终闪光速度慢,闪光留量不足,因而得不到窄的软化宽度。

[0068] 本发明的目的在于,提供一种不会产生上述问题的、通过抑制钢轨焊接部的软化能够降低钢轨的不均匀磨损的钢轨钢的闪光对焊方法。

[0069] 用于解决问题的手段

[0070] 本发明作为上述课题的对策,是在高碳过共析钢轨钢等的闪光对焊中,使钢轨头部上的 HAZ 宽度减小,减小软化宽度,抑制钢轨的不均匀磨损。其具体的方法如下所述。

[0071] (1) 本发明的一方式的方法是将一对轨道用钢轨钢之间进行闪光对焊的方法,其具备下述工序:初期闪光工序,其通过对一对所述轨道用钢轨钢施加电压,并使两者的端面即焊接面逐渐接近,局部地流通短路电流,通过电阻发热将所述焊接面加热使其熔融,进而,在所述焊接面中产生闪光的同时,通过所述闪光的电阻发热和电弧发热将所述焊接面加热;预热工序,其在使所述焊接面彼此间强制地接触的状态下,使电流流通规定时间,

通过电阻发热对所述焊接面附近进行加热；前期闪光工序，其在所述焊接面中部分地产生所述闪光的同时，通过所述闪光的电阻发热和电弧发热将所述焊接面加热；和后期闪光工序，其在所述焊接面的整面进一步产生所述闪光的同时，通过所述闪光的电阻发热和电弧发热，对所述焊接面整面均匀地进行加热；其中，所述后期闪光工序中的后期闪光速度为 2.1mm/秒～2.8mm/秒。

[0072] (2) 在上述 (1) 所述的闪光对焊方法中，所述后期闪光工序中的后期闪光留量可以为 10mm～60mm。

[0073] (3) 在上述 (1) 的闪光对焊方法中，所述后期闪光工序中的后期闪光留量可以为大于等于 22.6-6× 每 1 秒的后期闪光工序的熔损量且小于等于 60mm。

[0074] (4) 在上述 (1) 或 (2) 中任一项所述的闪光对焊方法中，所述轨道用钢轨钢以质量%计可以含有 C:0.85～1.20%。

[0075] (5) 在上述 (1) 或 (2) 中任一项所述的闪光对焊方法中，可以将焊接接头部的热影响宽度规定为 27mm 以下，且将软化宽度规定为 10mm 以下。

[0076] (6) 本发明的另一方式的方法是将一对轨道用钢轨钢之间进行闪光对焊的方法，其具备下述工序：预热工序，其在使一对所述轨道用钢轨钢的焊接面相互间强制地接触的状态下，使电流流通规定时间，通过电阻发热对所述焊接面附近进行加热；前期闪光工序，其在所述焊接面中部分地产生所述闪光的同时，通过所述闪光的电阻发热和电弧发热将所述焊接面加热；和后期闪光工序，其在所述焊接面的整面进一步产生所述闪光的同时，通过所述闪光的电阻发热和电弧发热，对所述焊接面整面均匀地进行加热；其中，所述后期闪光工序中的后期闪光留量为大于等于 22.6-6× 每 1 秒的后期闪光工序的熔损量且小于等于 60mm。

[0077] (7) 在上述 (6) 的闪光对焊方法中，所述后期闪光工序中的后期闪光速度为 0.5mm/秒～2.8mm/秒。

[0078] (8) 在上述 (6) 或 (7) 的闪光对焊方法中，所述轨道用钢轨钢以质量%计可以含有 C:0.85～1.20%。

[0079] (9) 在上述 (6) 或 (7) 的闪光对焊方法中，可以将焊接接头部的热影响宽度规定为 27mm 以下，且将软化宽度规定为 10mm 以下。

[0080] 发明效果

[0081] 根据本发明的各方式，通过加快在闪光对焊的闪光工序中的后期闪光工序中的后期闪光速度，进而加大此时的后期闪光留量，焊接面的热分布变得陡峭，因而 HAZ 宽度变窄，软化宽度也变窄。其结果是，钢轨头部上的与车轮接触导致的不均匀磨损减少，因而能够降低产生于钢轨头部表面的损伤，进而能够降低噪音及振动。此外，如此的不均匀磨损的减少及表面损伤的降低等的结果是，还能够有助于延长钢轨表层的砂轮机切削的周期和延长钢轨交换的周期。

[0082] 此外，通过降低不均匀磨损，能够抑制车轮通过时赋予钢轨的冲击，能够防止钢轨的疲劳断裂。

附图说明

[0083] 图 1A 是用于对闪光对焊方法的原理进行说明的断面示意图，表示钢轨钢和电极

等的配置。

[0084] 图 1B 表示闪光对焊方法的闪光工序。

[0085] 图 1C 表示闪光对焊方法的预热工序。

[0086] 图 1D 表示闪光对焊方法的顶锻工序。

[0087] 图 2A 是表示以往的闪光对焊接头的宏观断面的一例子的图。

[0088] 图 2B 是表示以往的闪光对焊接头的硬度分布的一例子的图。

[0089] 图 3 是表示本实施方式中的闪光对焊的各工序中的钢轨钢的移动距离的变化的一例子的图。

[0090] 图 4 是表示本实施方式中的后期闪光速度和 HAZ 宽度的关系的图。

[0091] 图 5 是表示本实施方式中的 HAZ 宽度和软化区宽度的关系的图。

[0092] 图 6A 是表示本实施方式中的闪光对焊接头的宏观断面的图。

[0093] 图 6B 是表示本实施方式中的闪光对焊接头的硬度分布的图。

[0094] 图 7 是表示本实施方式所用的转动疲劳试验机的概要的图。

[0095] 图 8 是表示通过本实施方式中的转动疲劳试验得到的 HAZ 宽度和不均匀磨损深度的关系的图。

[0096] 图 9 是表示本实施方式中的后期闪光速度和 4 点弯曲最大挠曲量的关系的图。

[0097] 图 10 是表示本实施方式中的后期闪光留量和 HAZ 宽度的关系（后期闪光速度为 2.1mm/秒时）的图。

[0098] 图 11 是表示本实施方式中的后期闪光速度为 2.1mm/秒时的后期闪光留量和 4 点弯曲最大挠曲量的关系的图。

[0099] 图 12 是表示后期闪光留量和 HAZ 宽度的关系（后期闪光速度为 2.5mm/秒时）的图。

[0100] 图 13 是表示后期闪光留量和 HAZ 宽度的关系（后期闪光速度为 1.2mm/秒时）的图。

具体实施方式

[0101] 作为满足重负荷铁道的钢轨所要求的耐磨损性的钢轨，广泛采用含有 0.85 ~ 1.20% 的 C、具有珠光体组织的高碳过共析钢轨。

[0102] 本发明人等认为，为了解决对如此的钢轨钢进行闪光对焊时的焊接部中的上述课题，通过使焊接面附近的热分布陡峭来减小焊接部的软化宽度是有效的。而且，作为实现其的方法，认为减小对焊接面附近的热量输入及提高顶锻工序临前的单位时间的热量输入是有效果的。

[0103] 以下，对本发明的闪光对焊方法的一实施方式进行说明。

[0104] 本实施方式中说明的方法是一对轨道用钢轨钢的闪光对焊方法，其具备下述工序：初期闪光工序，其通过对一对轨道用钢轨钢施加电压，并使两者的端面即焊接面逐渐接近，局部地流通短路电流，通过电阻发热将焊接面加热使其熔融，进而，在所述焊接面中产生闪光的同时，通过该闪光的电阻发热和电弧发热将焊接面加热；预热工序，其在使焊接面相互间强制地接触的状态下，使电流流通规定时间，通过电阻发热对焊接面附近进行加热；前期闪光工序，其在焊接面中部分地产生闪光的同时，通过闪光的电阻发热和电弧发热将

焊接面加热；和后期闪光工序，其在焊接面的整面进一步产生闪光的同时，通过闪光的电阻发热和电弧发热，对焊接面整面均匀地进行加热；其中，后期闪光工序中的后期闪光速度为 2.1mm/秒～2.8mm/秒。

[0105] 本发明人等采用每 1m 的重量为 136 磅 (61.2kg) 的 AREA (美国铁道技术协会) 标准 136RE 钢轨进行了闪光对焊。在闪光对焊中，采用利用 AC 电源、变压器容量为 320kVA、顶锻负荷为 70kN 的闪光焊接机，以组合闪光工序和预热工序的方式进行。再有，即使是重量为 141 磅 (63.45kg) 的 AREA 标准 141AB 也能够采用同样的方法，也能够得到与 136 磅 (61.2kg) 的 AREA 标准 136RE 钢轨时同样的效果。

[0106] 再有，所述轨道用钢轨钢的组成成分不一定必须限定，但以质量%计，优选含有 C：0.85～1.20%。

[0107] 这里，采用图 3 对本实施方式中的闪光对焊方法的各工序及闪光对焊方法的例子进行说明。

[0108] 本实施方式中的闪光对焊包含初期闪光工序、预热工序、前期闪光工序、后期闪光工序和顶锻工序。

[0109] 初期闪光工序是从冷状态（常温）开始的闪光工序，是为了在继续进行的预热工序中易于产生焊接面的接触，而在通过产生闪光将焊接面调整为相对于钢轨长度方向垂直的同时，利用该闪光的电阻发热和电弧发热加热焊接面的工序。

[0110] 此外，因在初期闪光工序产生闪光，因而如图 3 所示，闪光留量（熔损量）增加。所谓闪光留量，是因各工序导致的熔融飞溅或变形而损失掉的钢轨的长度。

[0111] 接着，在预热工序中，在一对钢轨钢中，在使对置的焊接面相互间强制地接触的状态下使大电流流通一定时间，利用电阻发热将焊接面附近加热。然后，多次重复拉开一对钢轨钢的过程。

[0112] 此外，优选将预热次数规定为 4 次以上，更优选 7 次以上，进一步优选 10 次以上。如前所述，预热工序因使对置的焊接面相互间强制地接触而流通大电流，因而与闪光工序相比热量输入效率高。因此，优选增加预热次数。

[0113] 此外，该预热工序通常在大气环境中进行，因而在焊接面产生成为焊接缺陷的氧化物。

[0114] 接着，对预热工序以后的闪光工序进行说明。

[0115] 在本实施方式中，预热工序以后的闪光工序由闪光速度分别不同的前期闪光工序及后期闪光工序构成。

[0116] 在前期闪光工序中，在对置的焊接面间部分地产生闪光的同时，利用该闪光的电阻发热和电弧发热对焊接面进行加热。这里，将前期闪光工序中产生的闪光称为前期闪光。

[0117] 再有，初期闪光工序所需的时间（初期闪光时间）和前期闪光工序所需的时间（前期闪光时间）的合计时间优选为 20 秒～180 秒。初期闪光工序为了有效地进行继续进行的预热工序，需要使端面垂直，如果时间过短则难以得到其效果，因此在 20 秒以上是必要的。此外如果初期闪光时间和前期闪光时间的合计时间过长，则 HAZ 宽度过宽，因而初期闪光时间和前期闪光时间的合计时间优选为 180 秒以下。

[0118] 在后期闪光工序中，与前期闪光工序同样地在对置的焊接面间产生闪光，但在使后期闪光工序中的闪光速度（后期闪光速度）高于前期闪光工序中的闪光速度（前期闪光

速度)这点上与前期闪光工序不同。

[0119] 也就是说,在后期闪光工序中,通过提高闪光速度,在焊接面整面产生在前期闪光工序中产生于焊接面的一部分上的前期闪光,利用该闪光的电阻发热和电弧发热对焊接面整面均匀地进行加热。

[0120] 另外,在后期闪光工序时,在预热工序中产生的氧化物因通过闪光使其飞溅而减少。

[0121] 再有,为了与前期闪光进行区别,而将后期闪光工序中产生的闪光称为后期闪光。

[0122] 接着,对顶锻工序进行说明。

[0123] 在通过后期闪光工序使焊接面整面形成熔融状态后,用大的加压力使焊接面相互间急速密合,在将焊接面的熔融金属的大部分排出到外部的同时,对焊接面后方的被加热到高温的部分施加加压及变形,形成接合部。也就是说,在将焊接中生成的氧化物排出的同时可将其微细分散化,因而可降低作为阻碍弯曲性能的缺陷残存于接合面的可能性。再有,在顶锻工序中排出到接合面外的氧化物(焊道部)在后续工序中通过热剪切等被除去。

[0124] 关于前期闪光工序,图3中示出前期闪光速度为等速的例子,但在随着时间的经过速度增加的情况下,也可得到同样的效果。在前期闪光速度加速的情况下,将其平均速度作为前期闪光速度。

[0125] 此外,在后期闪光速度加速的情况下,将其平均速度作为后期闪光速度。

[0126] 另外在预热工序以后直到顶锻工序之间的工序中,在闪光速度随着时间的经过而增加,前期闪光工序和后期闪光工序的区分变得困难时,将从预热工序结束后到顶锻工序开始的经过时间的前半个 $1/2$ 作为前期闪光工序,将后半个 $1/2$ 作为后期闪光工序。此外,将前期闪光工序中的闪光速度的平均速度作为前期闪光速度,另外将后期闪光工序中的闪光速度的平均速度作为后期闪光速度。再有,关于闪光对焊,由于通过设定焊接前的条件来设定闪光速度、闪光留量,因而能够预先得知从预热工序结束到顶锻工序开始的经过时间。

[0127] 此外,在本实施方式中,将后期闪光工序中的后期闪光速度规定为 $2.1\text{mm/秒} \sim 2.8\text{mm/秒}$ 。

[0128] 如果闪光速度慢,则对焊接面整面均匀地进行加热的效果减小,因此闪光速度优选较快。所以将后期闪光速度的下限值规定为 2.1mm/秒 。但是如果后期闪光速度过快,则有时产生冷结,因而将闪光速度的上限规定为 2.8mm/秒 。

[0129] 以下,对本实施方式中的后期闪光速度的数值限定进行更详细的说明。

[0130] 本发明人等认为,通过提高顶锻工序临前的后期闪光速度,能够实现焊接面附近的热分布的陡峭化,其结果是,HAZ宽度及软化宽度降低,从而求出了后期闪光速度与HAZ宽度及软化宽度的关系。

[0131] 再有,如果单纯地提高后期闪光速度,则如上所述,产生成为焊接缺陷的原因的冷结。因而,关于提高后期闪光速度以前的热量输入,能够以提高了其速度的后期闪光速度开始后期闪光工序,此外在其以后,也设定为对于后期闪光稳定地持续是适合的闪光时间、预热次数。

[0132] 在本实施方式中,预热次数为7次,且将初期闪光工序和前期闪光工序的合计时间规定为120秒。而且,以分别使后期闪光工序中的后期闪光速度和后期闪光留量变化的方式进行闪光对焊。

[0133] 再有,关于后期闪光留量,指的是在后期闪光工序中熔融金属从钢轨钢飞溅,将被焊接物除去形成的熔损量(熔损的钢轨的长度)。

[0134] 接着,在上述条件下的闪光对焊后,以焊接面为中心宏观观察钢轨长度方向的断面,求出距钢轨钢头部表层 5mm 下方位置的 HAZ 宽度。另外,以 100N 的试验力,与 HAZ 宽度观察同样地在距钢轨头部表层 5mm 下方位置进行维氏硬度试验,求出低于母材硬度的平均值 -3σ 的范围,将其作为软化宽度。

[0135] 图 4 中示出首先将后期闪光留量规定为 3mm,按上述焊接条件进行闪光对焊时的后期闪光速度和 HAZ 宽度的关系。

[0136] 如图 4 所示,随着提高后期闪光速度,HAZ 宽度变窄。这是因为如果提高闪光速度则电流增大,因而单位时间投入的热量输入提高,其结果是,从焊接面相对于钢轨轴垂直方向的温度分布变得陡峭。

[0137] 此外,图 5 中示出此时的 HAZ 宽度和软化宽度的关系。如图 5 所示,HAZ 宽度和软化宽度具有很强的比例关系。

[0138] 接着,图 6A 中示出图 4 所示的后期闪光速度为 2.1mm/秒的焊接部中心的钢轨长度方向的断面宏观图。此外,图 6B 中示出在距钢轨钢头部表层 5mm 下方位置测定的维氏硬度分布。

[0139] 由图 6B 得知,后期闪光速度为 2.1mm/秒时的 HAZ 宽度为 24mm、软化宽度为 8mm。此外,图 2B 所示的后期闪光速度为 0.5mm/秒时的 HAZ 宽度为 35mm、软化宽度为 19mm。也就是说,由此得知,随着提高后期闪光速度,HAZ 宽度及软化宽度都变窄。

[0140] 接着,按上述条件进行闪光对焊,将由此得到的具有多种 HAZ 宽度、软化宽度的焊接接头作为供试材料,采用图 7 所示的转动疲劳试验机,求出钢轨钢表面的不均匀磨损深度和 HAZ 宽度的关系。再有,转动疲劳试验机由钢轨移动用滑块 5、钢轨 6、车轮 7、电动机 8、负荷负载装置 9 构成。

[0141] 在转动疲劳试验中,作为钢轨钢采用长度 2m 的 136 镑钢轨 (AREA 标准 136RE),作为车轮为直径 920mm 的 AAR(美国铁道协会)类型。将径向负荷规定为 196kN,将轴向负荷规定为 9.8kN。此外向钢轨钢和车轮之间间歇地给水,进行试验。

[0142] 在进行了 250 万次重复次数的转动疲劳试验后,分别测定产生于钢轨钢的软化部的不均匀磨损的深度。图 8 中示出将 HAZ 宽度为 35mm 时规定为 1 时的结果。

[0143] 如图 8 所示,在 HAZ 宽度窄于 27mm 的情况下,磨损深度大大减小。

[0144] 此外,根据图 5 所示的 HAZ 宽度和软化宽度的关系,HAZ 宽度为 27mm 时的软化宽度为 10mm,因而作为减轻钢轨钢的不均匀磨损及损伤所必要的条件,优选将 HAZ 宽度规定为 27mm 以下,将软化宽度规定为 10mm 以下。

[0145] 此外,根据图 4 所示的后期闪光速度和 HAZ 宽度的关系,用于得到 27mm 的 HAZ 宽度的后期闪光速度为 2.1mm/秒。也就是说,要满足 HAZ 宽度为 27mm 以下、软化区宽度为 10mm 以下的条件,优选将后期闪光速度规定为 2.1mm/秒以上。

[0146] 此外,关于后期闪光速度的上限,优选规定为 2.8mm/秒。这基于以下的理由。越提高后期闪光速度越能够得到窄的 HAZ 宽度及软化宽度,但在焊接机的变压器的容量小的情况下,或在加快闪光速度以前,即后期闪光对接工序以前的热量输入少的情况下,如果过于提高速度,则不能供给对于产生电弧足够的热量输入。其结果是,不能稳定且连续地产生

后期闪光,此外根据情况有时还导致冷结。

[0147] 另外,按上述条件进行闪光对焊,将由此得到的具有多种 HAZ 宽度、软化宽度的焊接接头作为供试材料,基于 AREMA(美国的铁道技术和保线协会)标准 3.11.2.6,在支点间距离为 48 英寸(1219.2mm)、加压点间距离为 12 英寸(304.8mm)的条件下进行 4 点弯曲试验。图 9 中示出其结果。再有,在 AREMA 标准中 4 点弯曲的最大挠曲量的基准值为 19mm。

[0148] 如图 9 所示,通过提高后期闪光速度,HAZ 宽度及软化宽度变窄的接头的弯曲性能满足 AREMA 标准的基准值 19mm。

[0149] 作为以该闪光速度 2.1mm/秒开始、且其以后也持续闪光的条件,在本发明人等采用的开头的闪光对焊机中,预热次数为 7 次,且闪光时间为 120 秒。

[0150] 此外,在本实施方式中,除了上述的用于得到窄的 HAZ 宽度及软化宽度的后期闪光速度的条件以外,更优选将后期闪光对焊工序中的后期闪光留量规定为 10mm~60mm。以下,对该后期闪光留量的数值限定进行说明。

[0151] 图 10 中示出后期闪光速度为 2.1mm/秒,且采用上述焊接条件进行闪光对焊时的闪光留量和 HAZ 宽度的关系。

[0152] 如图 10 所示,得知:随着增大后期闪光留量,HAZ 宽度进一步变窄。这是因为,通过增大后期闪光留量,能够实现焊接面附近的热分布的进一步陡峭化,结果 HAZ 宽度及软化宽度降低。

[0153] 此外,由图 10 得知,在闪光留量为 10mm 以上时,HAZ 宽度的减少饱和。因此,将后期闪光留量的优选范围的下限规定为 10mm。

[0154] 此外,如果过于增大后期闪光留量,则飞溅的熔融金属量增多,连接在钢轨钢上的电极周围被污染,有钢轨钢的成品率下降的可能性。而且,还有产生电极等设备的干扰的可能性。因此,从环境、成本、设备制约的观点出发,将优选的后期闪光留量的上限规定为 60mm。

[0155] 接着,图 11 中示出焊接后的钢轨的弯曲性能。如图 11 所示,即使增大后期闪光留量,也能够得到充分满足基准值的弯曲性能。

[0156] 如以上所述,如果根据本实施方式中的闪光对焊方法,则因焊接面附近的热分布变得陡峭,而能够得到比以往窄的 HAZ 宽度及软化宽度,此外,其结果是,因钢轨头部上的与车轮接触造成的不均匀磨损减少,而能够使产生于钢轨头部表面的损伤降低,而且还能够降低噪音及振动。

[0157] 此外,在可得到比以往窄的 HAZ 宽度及软化宽度的同时,还能够同时满足弯曲性能。

[0158] 另外,通过在后期闪光留量为 10mm~60mm 的范围内进行焊接,能够得到更窄的 HAZ 宽度及软化宽度。由此,能够进一步降低产生于钢轨头部表面的损伤。

[0159] 此外,如此的不均匀磨损的减少及表面损伤的降低等结果,还能有助于延长钢轨表层的砂轮机切削的周期和延长钢轨交换的周期。

[0160] 此外,通过减小不均匀磨损,能够抑制车轮通过时赋予钢轨的冲击,能够防止钢轨的疲劳断裂。

[0161] 此外,作为本实施方式的变形例,即使取代上述的将后期闪光速度限制在 2.1mm/秒~2.8mm/秒,而采用满足下式(1)的后期闪光留量,也可得到十分窄的 HAZ 软化宽度。这

里,每 1 秒的后期闪光工序的熔损量可通过(后期闪光工序的总熔损量/后期闪光工序所需的时间)来求出。

[0162] $60 \geq \text{后期闪光留量} \geq 22.6 - 6 \times \text{每 1 秒的后期闪光工序的熔损量}$ 式(1)

[0163] 再有,在采用满足上式(1)的后期闪光留量时,也可以将后期闪光速度限制在 0.5mm/秒~2.8mm/秒的范围,优选为 1.2mm/秒~2.8mm/秒的范围,更优选为 2.1mm/秒~2.8mm/秒的范围。

[0164] 以下,对上述式(1)及后期闪光速度的限定理由进行说明。

[0165] 首先,将后期闪光速度规定为 2.5mm/秒,在上述焊接条件下进行闪光对焊,求出后期闪光留量和 HAZ 宽度的关系。图 12 中示出它们的关系。

[0166] 如图 12 所示,在后期闪光速度为 2.5mm/秒时,如果增大后期闪光留量则 HAZ 宽度变窄。此外在闪光速度为 2.5mm/秒时,后期闪光留量为 7.5mm 以上,HAZ 宽度饱和。

[0167] 接着,求出了将后期闪光速度规定为 1.2mm/秒时的后期闪光留量和 HAZ 宽度的关系。图 13 中示出它们的关系。如图 13 所示,将后期闪光留量规定为 3mm 时的 HAZ 宽度为 30mm,但如果增大后期闪光留量则 HAZ 宽度变窄,在将后期闪光留量规定为 15mm 的情况下,HAZ 宽度可实现 27mm 以下。再有,虽省略了图,但在此种情况下使弯曲性能超过 4 点弯曲基准值。

[0168] 以上,为了基于图 10、图 12 及图 13 所示的后期闪光留量和 HAZ 宽度的关系,得到窄的 HAZ 软化宽度,优选采用满足上式(1)的后期闪光留量。

[0169] 再有,关于上式(1)的上限值,如果后期闪光留量过于增大,则涉及到熔融金属的飞溅导致的焊接面的环境恶化进而成品率降低,因而优选 60mm。

[0170] 此外如果后期闪光速度慢,则即使加大后期闪光留量,焊接面近旁的热分布变得陡峭的效果也减小,因此将满足上式(1)时的后期闪光速度的下限值规定为 0.5mm/秒。另一方面,如果后期闪光速度过快,则有时产生冷结,因此将后期闪光速度的上限值规定为 2.8mm/秒。

[0171] 实施例

[0172] 以下,采用实施例,对本发明的可实施性及效果进一步进行说明。再有,实施例中采用的条件是用于确认的一个例子,本发明并不只限于此例子。

[0173] 将以质量%计含有 C:0.85~1.2%、Si:0.1~2.0%、Mn:0.1~2.0%,且呈珠光体组织的每 1m 的重量为 136 镑的 AREA 标准 136RE 的钢轨钢供于闪光对焊。

[0174] 作为闪光对焊机,采用利用 AC 电源、变压器容量为 400kVA、顶锻负荷为 70kN 的闪光焊接机。关于焊接,在组合闪光工序和预热工序,预热次数为 10 次,且将初期闪光工序和前期闪光工序的合计时间规定为 90 秒,使后期闪光工序中的后期闪光速度和后期闪光留量分别如表 1 所示变化来进行。

[0175] 在以上述条件进行闪光对焊后,为了评价焊接接头,求出了 HAZ 宽度、软化宽度及弯曲性能。HAZ 宽度通过宏观观察钢轨长度方向的断面,在距钢轨钢头部表层 5mm 下方位置求出。软化宽度与 HAZ 宽度同样,在钢轨长度方向的断面的距钢轨钢头部表层 5mm 下方位置,用 100N 的试验力进行维氏硬度试验,规定为低于母材硬度的平均值 -3σ 的范围。弯曲性能基于上述 AREMA 标准,在支点间距离为 48 英寸、加压点间距离为 12 英寸的条件下进行 4 点弯曲试验,求出最大挠曲量。

[0176] 关于 HAZ 宽度的评价,以上述转动疲劳试验中不均匀磨损的磨损深度大幅度降低的 27mm 以下为基准。此外软化宽度以相当于 HAZ 宽度 27mm 的 10mm 以下为基准。此外关于弯曲性能,在 AREMA 标准中 4 点弯曲挠曲量为 19mm 以上为基准。

[0177] 结果示于表 1。

[0178] 后期闪光速度为 2.1mm/ 秒以上的发明例 1 ~ 4 及虽然后期闪光速度低于 2.1mm/ 秒、但后期闪光留量高于 22.6-6× 每 1 秒的后期闪光工序的熔损量的发明例 5 ~ 7 满足本发明的规定,满足了 27mm 以下的 HAZ 宽度、10mm 以下的软化宽度。

[0179] 但是,在后期闪光速度低于 2.1mm/ 秒、且后期闪光留量为 22.6-6× 每 1 秒的后期闪光工序的熔损量以下的比较例 1 ~ 3 时,没有满足本发明的规定,不能满足 HAZ 宽度及软化宽度。

[0180] 表 1

[0181]

	后期闪光速度 (mm/秒)	后期闪光留量 (mm)	22.6-6×每 1 秒后期闪光工序的熔损量(mm)	HAZ 宽度 (mm)	软化宽度 (mm)	磨损量的相对比值(将 HAZ 宽度为 35mm 作为 1)	弯曲性能 4 点弯曲挠曲量(mm)
发明例 1	2.1	15	10	24.5	7.6	0.3	22.0
发明例 2	2.1	8	10	25.5	8.7	0.3	21.0
发明例 3	2.5	5	7.6	25.8	9.0	0.3	22.5
发明例 4	2.5	9	7.6	24.2	7.2	0.3	21.5
发明例 5	1.8	15	11.8	26.5	9.7	0.3	20.0
发明例 6	1.2	18	15.4	26.5	9.7	0.3	21.0
发明例 7	0.5	22	19.6	26.6	9.8	0.3	20.0
比较例 1	1.8	5	11.8	28.5	11.8	0.5	21.5
比较例 2	1.2	3	15.4	30.0	13.2	0.6	20.0
比较例 3	0.5	3	19.6	35.0	17.6	1.0	19.5

[0182] 产业上的可利用性

[0183] 根据本发明,钢轨的不均匀磨损的减少及表面损伤的降低等结果是,能够有助于延长钢轨表层的砂轮机切削的周期和延长钢轨交换的周期。此外,通过减少不均匀磨损,还能够抑制车轮通过时赋予钢轨的冲击,能够防止钢轨的疲劳断裂。

[0184] 符号说明

[0185] 1A、1B 钢轨钢

[0186] 2 电极

[0187] 3 电源

[0188] 4 钢轨钢的移动方向

[0189] 5 钢轨移动用滑块

[0190] 6 钢轨

[0191] 7 车轮

[0192] 8 电动机

[0193] 9 负荷负载装置

钢轨钢和电极等的配置

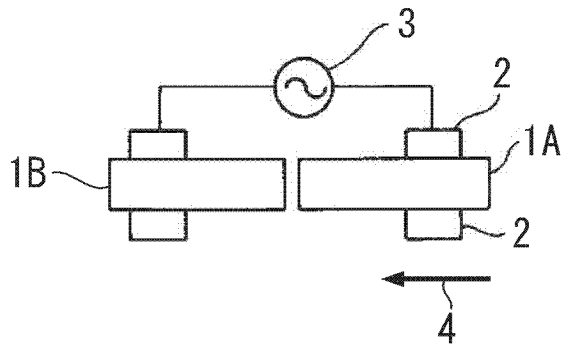


图 1A

闪光工序

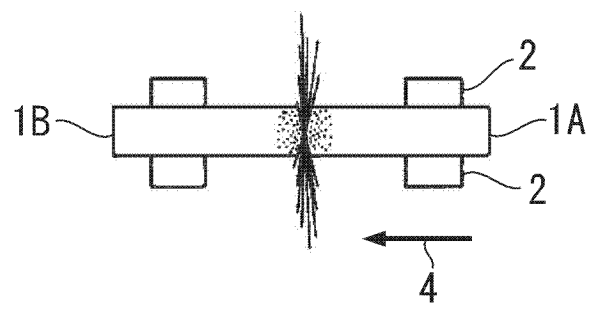


图 1B

预热工序

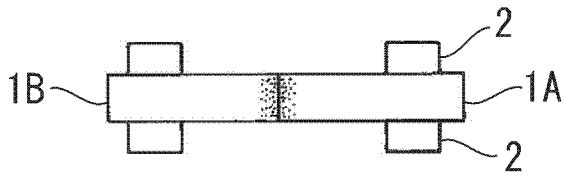


图 1C

顶锻工序

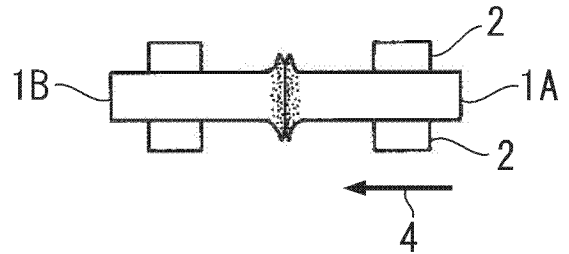


图 1D

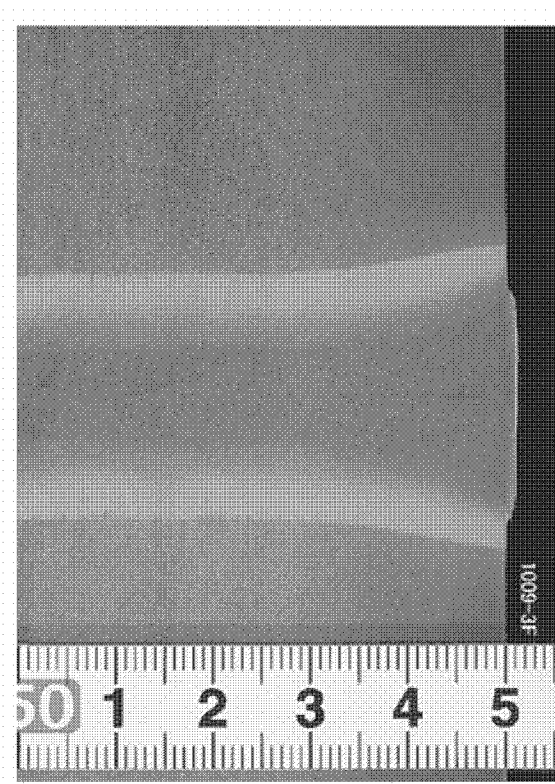


图 2A

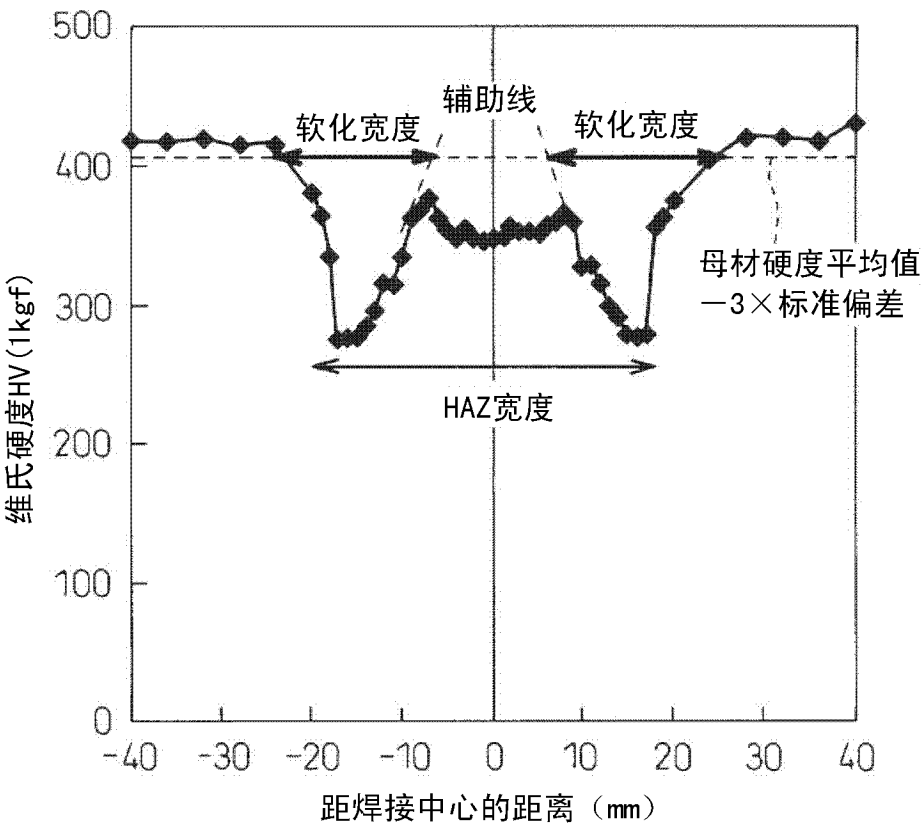


图 2B

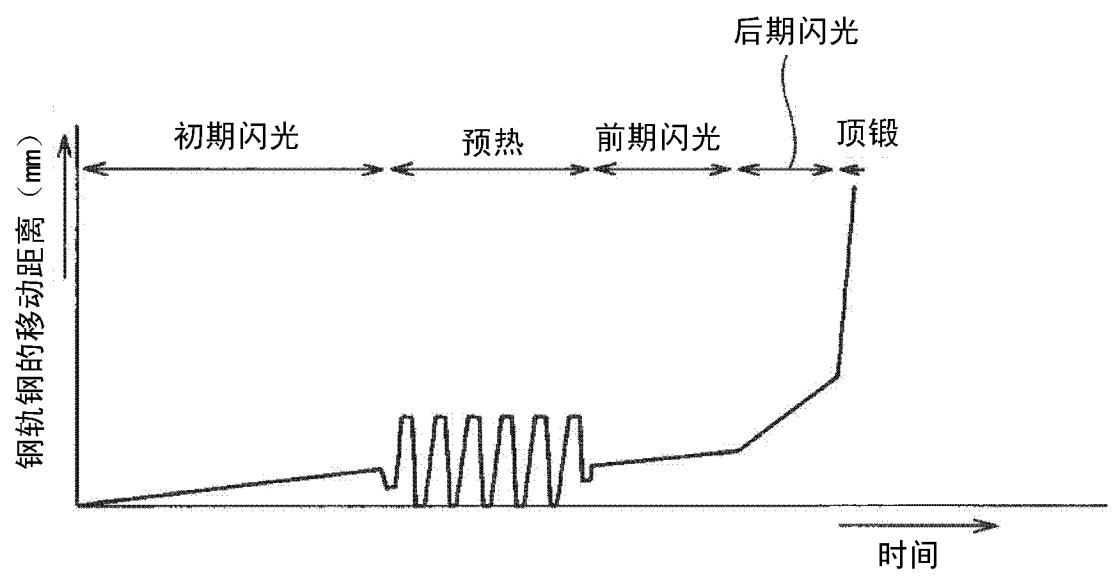


图 3

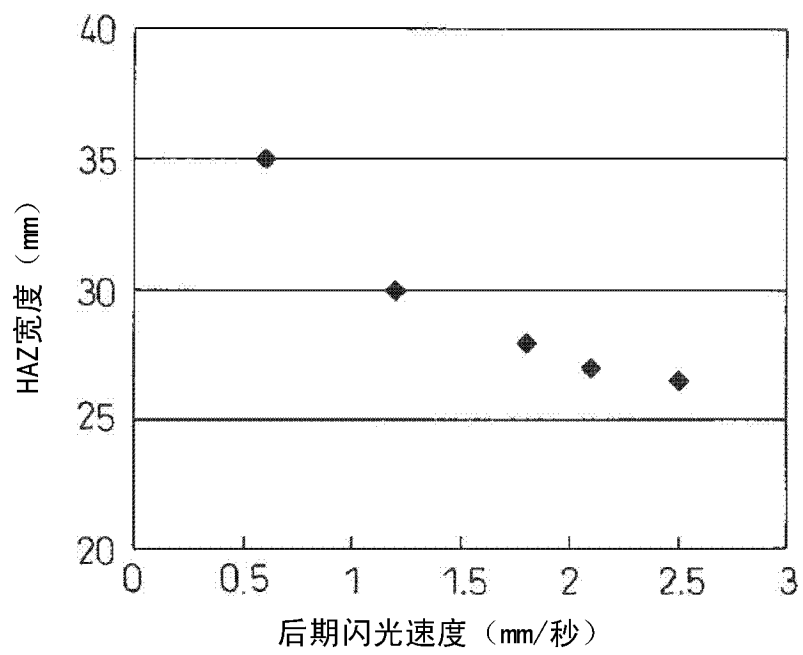


图 4

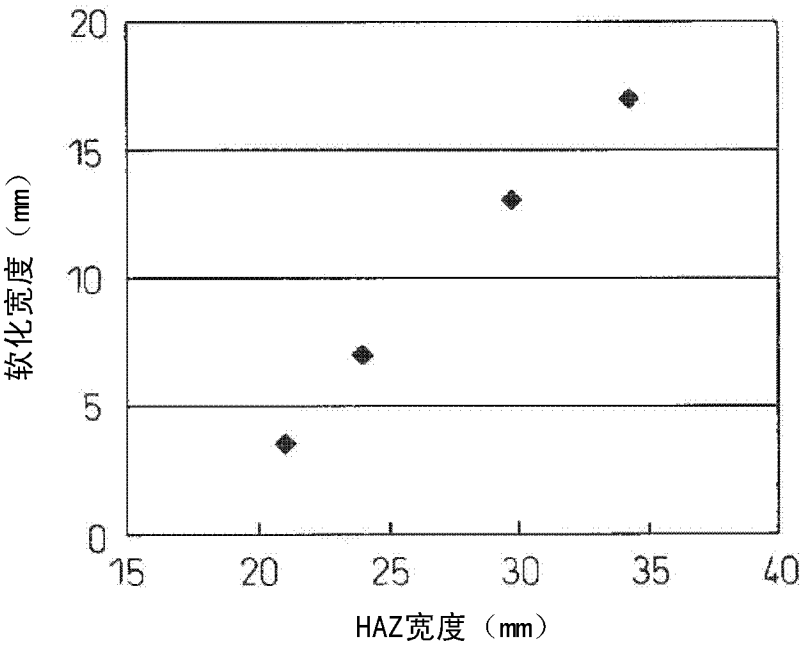


图 5

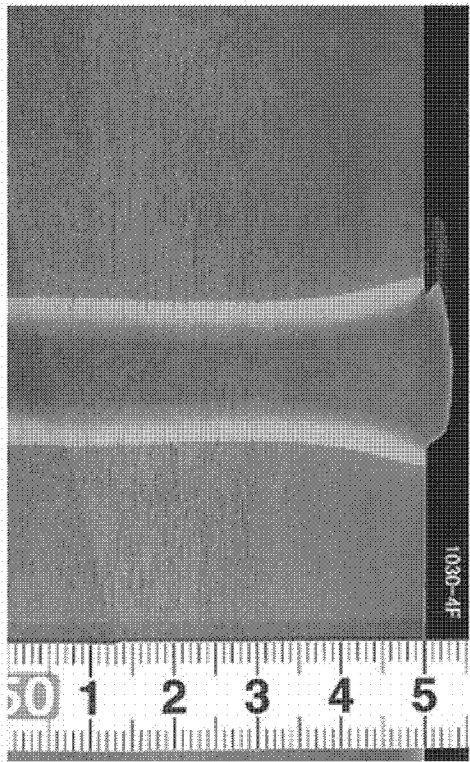


图 6A

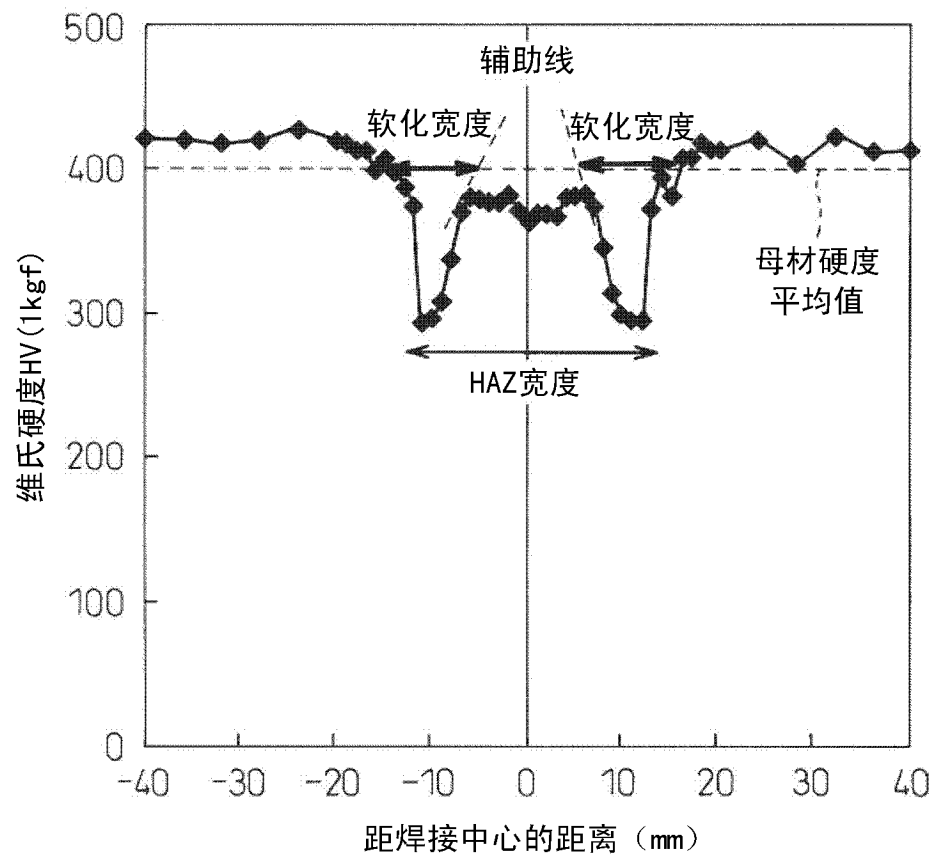


图 6B

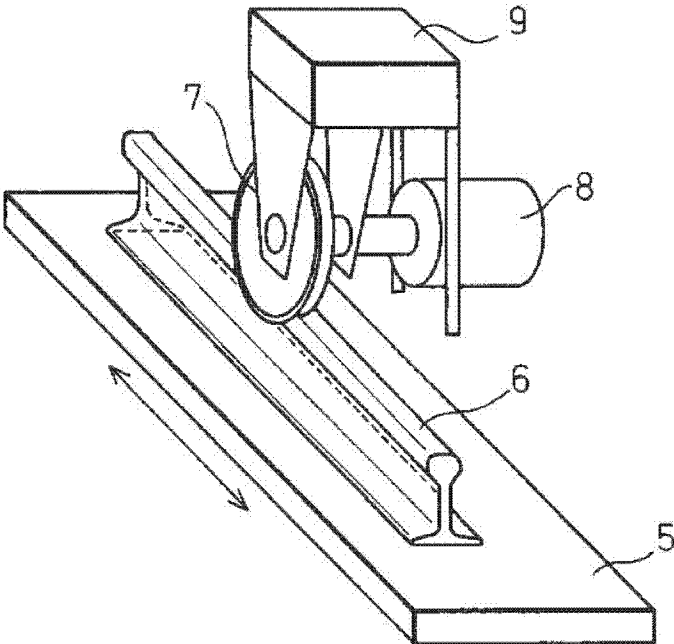


图 7

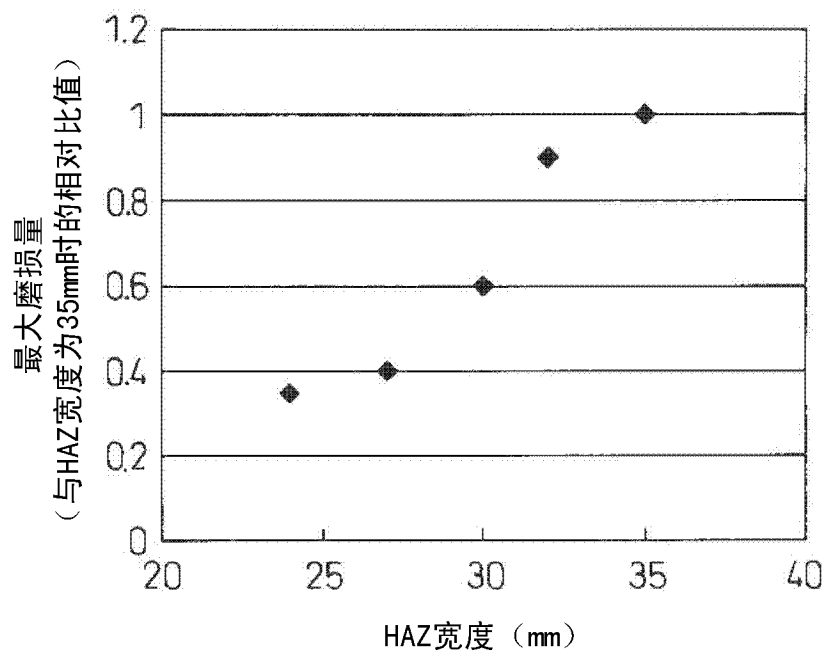


图 8

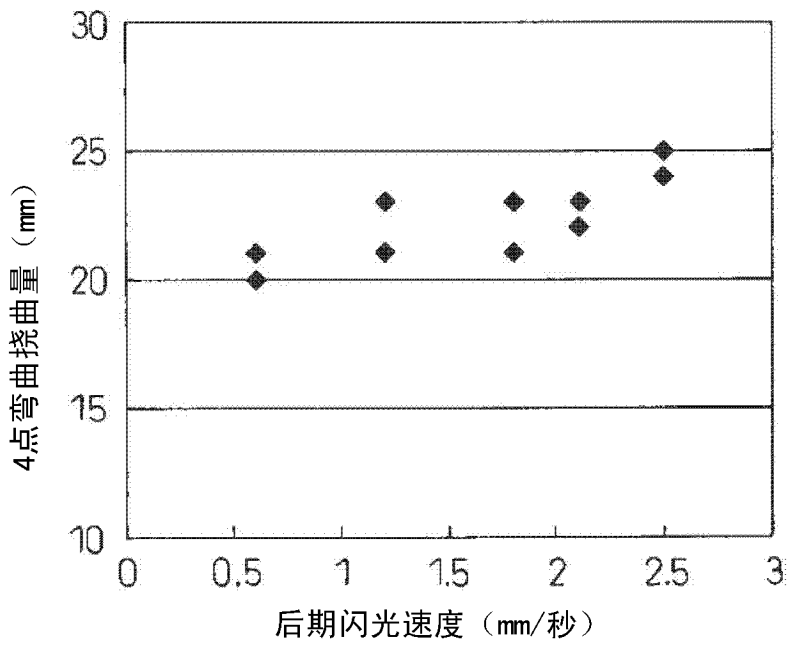


图 9

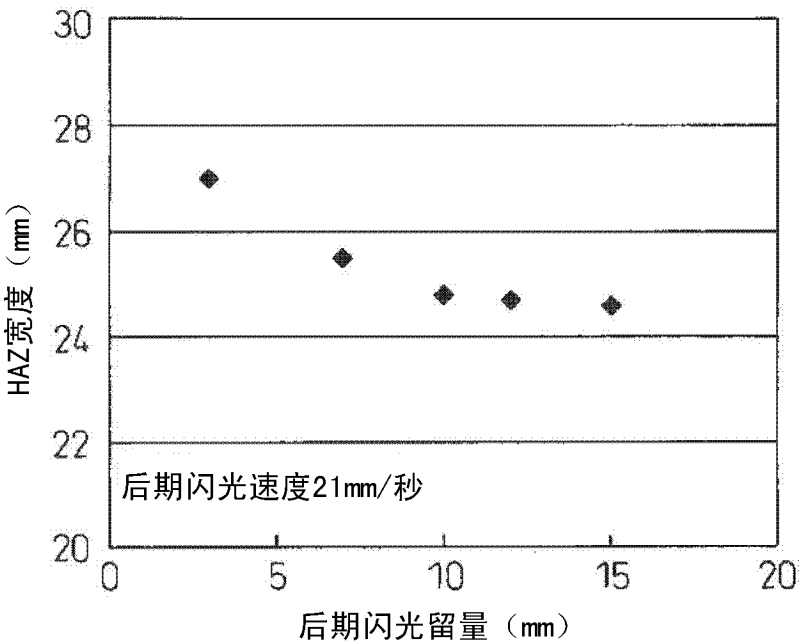


图 10

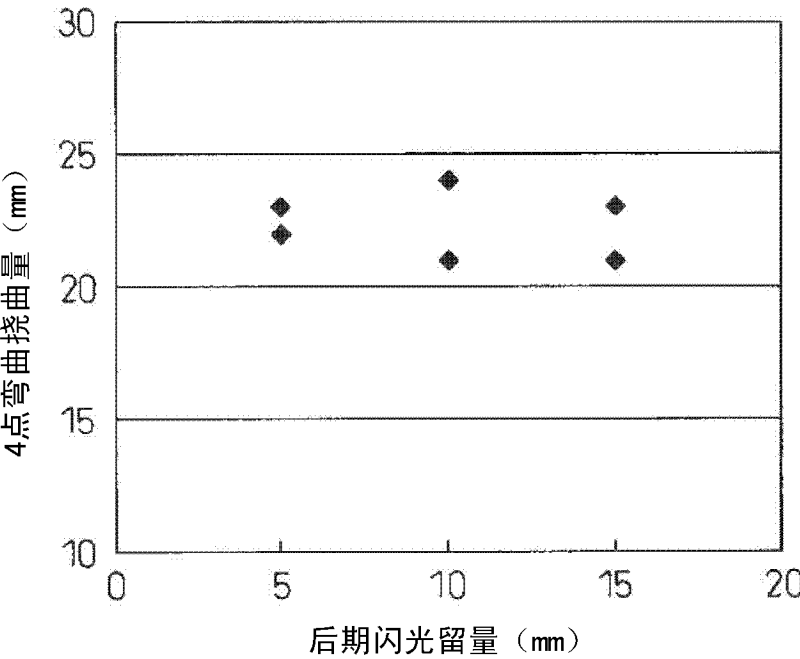


图 11

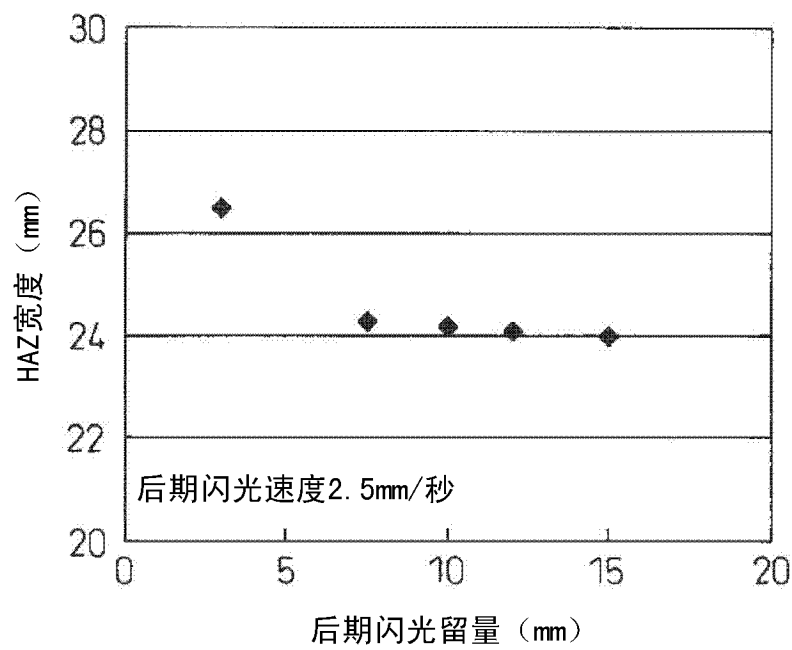


图 12

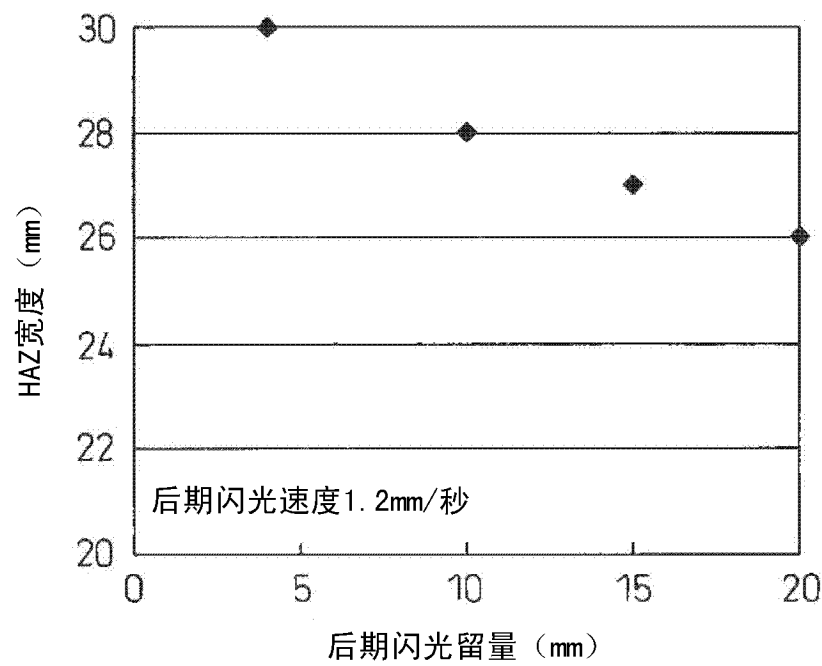


图 13