(19)中华人民共和国国家知识产权局

(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 101534971 B
(45)授权公告日 2011.06.01

(21)申请号 200780040857.4
(22)申请日 2007.10.25
(30)优先权数据
293527/2006 2006.10.30 JP
(85)PCT申请进入国家阶段日
2009.04.30
(86)PCT申请的申请数据
PCT/JP2007/071275 2007.10.25
(87)PCT申请的公布数据
WO2008/053947 JA 2008.05.08
(73)专利权人 杰富意钢铁株式会社
地址 日本东京
(72)发明人 上冈悟史 黑木高志 西浦伸夫
(74)专利代理机构 中原信达知识产权代理有限责任公司 11219
代理人 樊卫民 郭国清
(51)Int.Cl.
B21B 45/02(2006.01)
(56)对比文件
CN 1802225 A,2006.07.12,
CN 1802225 A,2006.07.12,
CN 1805803 A,2006.07.19,
JP 2004130353 A,2004.04.30,
JP 10216821 A,1998.08.18,
JP 2001286925 A,2001.10.16,
JP 2005279703 A,2005.10.13,
审查员 李晓辉

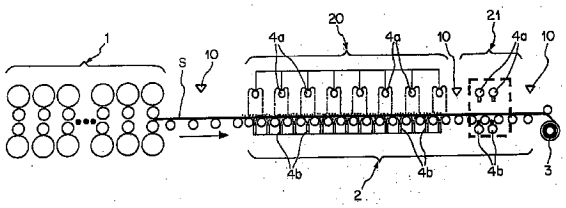
权利要求书 1 页 说明书 16 页 附图 6 页

(54)发明名称

热轧钢带的冷却方法

(57)摘要

提供能够以较少设备和处理成本实施、冷却后的钢带的温度不均少、特别是能够高精度地控制500℃以下的温度范围内的冷却终止温度的热轧钢带的冷却方法。在通过使热轧后的热轧钢带与冷却水接触来进行冷却的方法中，具有第一冷却工序和随后的第二冷却工序，在上述第一冷却工序中，在比过渡沸腾开始温度高的钢带温度下停止冷却，在随后的第二冷却工序中，通过引起核态沸腾的水流量密度的冷却水进行冷却。由于能够避免经过过渡沸腾温度范围，因而能够确实地避免由过渡沸腾引起的冷却不稳定，冷却后的钢带的温度不均少，并且能够高精度地控制冷却终止温度。



CN 101534971 B

1. 一种热轧钢带的冷却方法，通过使热轧后的热轧钢带与冷却水接触而进行冷却，其特征在于，

具有第一冷却工序和随后的第二冷却工序，

在所述第一冷却工序中，在比过渡沸腾开始温度高的钢带温度下停止冷却，在随后的第二冷却工序中，通过引起核态沸腾的水流量密度的冷却水进行冷却，接着进行卷取，

在所述第一冷却工序中，通过 350 ～ 1200L/min·m^2 的水流量密度的冷却水进行冷却，并且在比 500℃高的钢带温度下停止冷却，

在所述第二冷却工序中，至少对钢带上表面浇注 2500L/min·m^2 以上的水流量密度的冷却水，冷却至 500℃以下的钢带温度，至少通过层流冷却或射流冷却对钢带上表面进行冷却，并且使所述层流冷却或射流冷却中来自冷却水供给喷嘴的冷却水的喷射速度为 7m/ 秒以上。

2. 一种热轧钢板的冷却方法，通过使热轧后的热轧钢带与冷却水接触而进行冷却，其特征在于，

具有第一冷却工序和随后的第二冷却工序，

在所述第一冷却工序中，在比过渡沸腾开始温度高的钢带温度下停止冷却，在随后的第二冷却工序中，通过引起核态沸腾的水流量密度的冷却水进行冷却，接着进行卷取，

在所述第一冷却工序的前段，通过超过 1200L/min·m^2 的水流量密度的冷却水进行冷却，在随后的第一冷却工序的后段，通过 350 ～ 1200L/min·m^2 的水流量密度的冷却水进行冷却，并且在比 500℃高的钢带温度下停止冷却，

在所述第二冷却工序中，至少对钢带上表面浇注 2500L/min·m^2 以上的水流量密度的冷却水，冷却至 500℃以下的钢带温度，至少通过层流冷却或射流冷却对钢带上表面进行冷却，并且使所述层流冷却或射流冷却中来自冷却水供给喷嘴的冷却水的喷射速度为 7m/ 秒以上。

3. 如权利要求 1 或 2 所述的热轧钢带的冷却方法，其中，在第一冷却工序中，在 550 ～ 600℃的钢带温度下停止冷却。

4. 如权利要求 1 ～ 3 中任一项所述的热轧钢带的冷却方法，其中，在第二冷却工序中，通过除水装置将浇注到钢带上表面的冷却水排出到钢带两侧的外部。

5. 如权利要求 4 所述的热轧钢带的冷却方法，其中，除水装置是设置在钢带上表面的宽度方向上的辊。

6. 如权利要求 4 所述的热轧钢带的冷却方法，其中，除水装置是喷射到钢带上表面的冷却水上的高压流体。

7. 如权利要求 1 ～ 3 中任一项所述的热轧钢带的冷却方法，其中，从 2 个冷却水供给喷嘴或 2 个冷却水供给喷嘴组喷射的冷却水，以在钢板通板线方向上倾斜相对的状态下分别从斜上方撞击钢带上表面后、两冷却水流在钢带表面上相撞的方式，从冷却水供给喷嘴向钢带上表面进行浇注。

热轧钢带的冷却方法

技术领域

[0001] 本发明涉及使热轧后的热轧钢带与冷却水接触来进行冷却的方法，特别涉及能够高精度地控制冷却至500℃以下时的冷却终止温度的热轧钢带的冷却方法。

背景技术

[0002] 在用于制造热轧钢带的热轧工序中，将高温加热后的钢坯轧制成目标尺寸、材质后，在出料辊道上进行水冷却。这里进行的水冷却的目的在于，主要通过控制钢带的析出物、相变组织来调节目标强度、延展性等材质。特别来说，高精度控制冷却终止温度在确保不出现目标材质参差不齐方面非常重要。

[0003] 在热轧后的冷却工序中，作为冷却介质多使用成本低的水，但在这种水冷却中，冷却终止温度降低时存在出现温度不均、变得不能高精度地止于目标温度的问题。产生这种问题的原因为如下几方面。

[0004] 首先，作为首要原因，可以列举水的沸腾形态。即，冷却水在覆盖到钢带上时沸腾，以某一温度为界沸腾形态改变，从而发生导热能力的变化，当冷却至低于该温度的温度时，有时不能高精度地控制冷却终止温度。

[0005] 这里，对水冷却钢带时的沸腾形态进行说明，覆盖水的钢带的表面温度在高温度范围的情况下为膜态沸腾，在低温范围的情况下为核态沸腾，在高温范围与低温范围之间的中间温度范围的情况下为过渡沸腾。在高温范围出现的膜态沸腾中，钢带表面与冷却水之间产生蒸汽膜，通过该蒸汽膜内的热传导进行导热，因此冷却能力低。另一方面，在低温范围出现的核态沸腾中，出现钢带表面与冷却水直接接触，并且产生冷却水的一部分从钢带表面蒸发而形成的蒸汽泡，并立即被周围的冷却水凝缩而消失的复杂现象，伴随蒸汽泡的生成和消失，发生冷却水的搅拌，因此具有极高的冷却能力。并且，在中间温度范围成为膜态沸腾与核态沸腾混合存在的状态，即过渡沸腾状态。在该过渡沸腾中，与核态沸腾和膜态沸腾不同，出现随着钢带温度降低热通量变大的现象。从材质控制的观点出发，根据温度不同冷却速度发生变化并不优选，并且在从膜态沸腾状态向过渡沸腾状态过渡的温度范围终止（停止）冷却时，过渡沸腾范围中加速冷却速度变高，因此存在仅稍稍延长冷却控制时间钢带温度与目标相比就大幅降低的问题。

[0006] 而且，在冷却前的钢带由于热轧等的影响存在局部温度低的区域的情况下，冷却时，由于该温度低的区域在早期转变为过渡沸腾，因此温度偏差增大。在普通的出料辊道中进行的冷却工序中，这种过渡沸腾开始温度大约为500℃左右。

[0007] 接着，作为第二原因，可以列举冷却水在钢带上滞留。即，在通常的出料辊道中对钢带上表面侧进行冷却时，进行使用圆管喷嘴或狭缝喷嘴的层流冷却，但撞击到钢带上表面的冷却水以在钢带上的状态沿钢带前进方向流出。通常，钢带上表面的冷却水能够通过除水吹扫等排除，但由于现有的除水吹扫在远离向钢带浇注冷却水的地点实施，因此在到达那里期间，钢带表面上仅冷却水滞留的部分被过度冷却。特别是在500℃以下的低温范围的情况下，该滞留水从膜态沸腾状态变化为过渡沸腾状态，因此冷却能力变高，在存在滞留

水的部位和不存在滞留水的部位产生大的温度偏差。

[0008] 由于以上的原因，在作为过渡沸腾开始温度的500℃以下终止热轧钢带的冷却时，卷材内的温度不均变大。因此，以往开始为了应对如上所述的现象进行了各种研究。

[0009] 例如，专利文献1中公开了在引起冷却水膜态沸腾的高温范围内向热轧钢带的上下两表面浇注冷却水，在过渡沸腾温度范围仅对钢带下表面浇注冷却水的方法。该冷却方法通过在过渡沸腾温度范围内进行下表面冷却，排除在钢带上表面形成的水膜和伴随其的冷却能力的不稳定性，实现稳定冷却。

[0010] 专利文献2中公开了首先以低温冷却水进行冷却，再用过渡沸腾温度范围到80℃以上的高温冷却水进行冷却的方法。该冷却方法通过使用温水作为冷却水，使过渡沸腾开始温度向低温侧移动，由此延长膜态沸腾持续时间，从而实现了稳定冷却。

[0011] 专利文献3中公开了同时设置水冷却装置和气体冷却装置作为冷却装置，在高温范围进行使用水冷却装置的水冷却，在过渡沸腾开始温度以下的温度范围进行使用气体冷却装置的气体冷却的方法。该冷却方法通过使用在低温范围无沸腾现象、能够进行稳定冷却的气体冷却，实现了低温范围中的温度稳定性。

[0012] 专利文献4中公开了在出料辊道前半段以80～100℃的温水冷却至约400℃，然后以比出料辊道前半段的冷却水温低的冷却水进行冷却的方法。该冷却方法通过将出料辊道前半段的冷却水设为温水，使过渡沸腾开始温度向低温侧移动，并且以能够在核态沸腾下冷却低温侧的水温的冷却水进行冷却，从而实现了低温范围中的温度稳定性。

[0013] 专利文献5中公开了一种冷却设备：将连续浇注冷却热终轧后的钢带的冷却区域划分为前半区域和后半区域，在前半区域设置高冷却能力（水流量密度：1.0～5.0$m^3/m^2 \cdot min$）的冷却设备，同时在后半区域设置低冷却能力（水流量密度：0.05$m^3/m^2 \cdot min$～小于0.3$m^3/m^2 \cdot min$）的冷却设备，进而在冷却区域的全长中设置中冷却能力（水流量密度：0.3$m^3/m^2 \cdot min$～小于1.0$m^3/m^2 \cdot min$）的冷却设备。在利用这种冷却设备的热轧钢带的冷却中，在低温度范围内使冷却水量减少并且使过渡沸腾开始温度向低温侧移动，由此延长了膜态沸腾持续时间，从而实现了稳定冷却。

[0014] 专利文献1：日本特公平6-248号公报

[0015] 专利文献2：日本特开平6-71339号公报

[0016] 专利文献3：日本特开2000-313920号公报

[0017] 专利文献4：日本特开昭58-71339号公报

[0018] 专利文献5：日本特开2003-25009号公报

发明内容

[0019] 但是，上述现有技术中存在如下的实际应用上的问题。

[0020] 在专利文献1的方法中，虽然能够减少由钢带上表面的滞留水引起的温度不均，但是仅向钢带下表面浇注冷却水并不能避免经过出现冷却不稳定的过渡沸腾温度范围，因此与此相伴，不能避免冷却终止温度的精度降低。

[0021] 在专利文献2的方法中，虽然能够通过使用温水得到使过渡沸腾开始温度向低温侧移动的效果，但是该效果有限，在为了控制在更低的冷却终止温度的情况下，并不能避免经过出现冷却不稳定的过渡沸腾温度范围，因此与此相伴，不能避免冷却终止温度的精度

降低。而且，由于没有考虑钢带上的滞留水的影响，因而不能避免温度偏差的出现。

[0022] 在专利文献 3 的方法中，由于实施气体冷却，没有沸腾现象因而没有出现冷却不稳定，因此能够提高冷却终止温度的精度。但是，由于气体冷却与水冷却相比冷却能力小 1 ～ 2 个数量级，因而冷却速度极慢，因此存在不能得到所期望的材质的问题。而且，由于气体冷却的冷却速度低，因而在热轧钢带的出料冷却中需要非常大型的冷却设备，很难实现。

[0023] 在专利文献 4 的方法中，将冷却前半段（出料辊道前半段）的冷却水的水温设定为 80℃以上的高温的同时，降低冷却后半段的冷却水温，即，冷却前半段以膜沸腾进行冷却，冷却后半段以核态沸腾进行冷却。该方法作为避免引起冷却不稳定的过渡沸腾的方法非常有效。但是另一方面，冷却前半段中需要非常大量的温水。即，一般而言，多数情况下出料辊道中使用的每单位面积的冷却水流量为约 $0.7m^3/min \cdot m^2$ ～约 $1.2m^3/min \cdot m^2$，喷射到钢带上的水量为约 $100m^3/min$，量非常大。因此，在专利文献 4 的方法中，需要用于加热大量的水使之温水化的极大规模的设备，而且用于加热的能量也非常大，因此难以说是现实的方法。而且，虽然为了在低温侧引起核态沸腾而降低了冷却水温，然而仅通过调节水温来引起稳定的核态沸腾非常困难，实际上难以以该方法稳定地进行冷却。而且，由于没有考虑到钢带上的滞留水的影响，因而并不能避免温度偏差的出现。

[0024] 专利文献 5 中进行的冷却在钢带温度降低的范围内减少冷却水的水量，由此物理学上能够得到的效果是使过渡沸腾开始温度向低温侧移动的效果。但是，虽然通过降低冷却水的水量使过渡沸腾开始温度向低温侧移动，但是该效果有限，在为了控制在更低的冷却终止温度的情况下，不能避免经过出现冷却不稳定的过渡沸腾温度范围，因此与此相伴，不能避免冷却终止温度的精度降低。而且，由于没有考虑到钢带上的滞留水的影响，因而不能避免温度偏差的出现。

[0025] 因此，本发明的目的在于，提供解决如上现有技术的问题并且能够以较少的设备和处理成本实施的冷却方法，该方法中，冷却后的钢带的温度不均少并且能够高精度地控制冷却终止温度，特别是能够高精度地控制 500℃以下的温度范围内的冷却终止温度。

[0026] 本发明人着眼于向热轧钢带进行浇注的冷却水的水流量密度越高则过渡沸腾开始温度及核态沸腾开始温度越向高温侧移动的事实，发现通过在高温侧的冷却工序（冷却前期）中，在比过渡沸腾开始温度高的钢带温度下停止冷却，在随后低温侧的冷却工序（冷却后期）中，以引起核态沸腾的冷却水流量密度进行冷却，能够完全避免经过过渡沸腾温度范围，从而确实地避免由过渡沸腾引起的冷却不稳定。

[0027] 本发明基于这种见解而完成，以以下作为要点。

[0028] 一种热轧钢带的冷却方法，通过使热轧后的热轧钢带与冷却水接触而进行冷却，其特征在于，具有第一冷却工序和随后的第二冷却工序，在所述第一冷却工序中，在比过渡沸腾开始温度高的钢带温度下停止冷却，在随后的第二冷却工序中，通过引起核态沸腾的水流量密度的冷却水进行冷却。

[0029] 如上述 [1] 所述的热轧钢板的冷却方法，其中，在第一冷却工序中，通过 350 ～ $1200L/min \cdot m^2$ 的水流量密度的冷却水进行冷却，并且在比 500℃高的钢带温度下停止冷却，在随后的第二冷却工序中，至少对钢带上表面浇注 $2000L/min \cdot m^2$ 以上的水流量密度的冷却水，冷却至 500℃以下的钢带温度。

[0030] 如上述 [1] 所述的热轧钢板的冷却方法，其中，在第一冷却工序的前段，通过超

过 1200L/min·m^2 的水流量密度的冷却水进行冷却，在随后的第一冷却工序的后段，通过 350 ～ 1200L/min·m^2 的水流量密度的冷却水进行冷却，并且在比 500℃高的钢带温度下停止冷却，在随后的第二冷却工序中，至少对钢带上表面浇注 2000L/min·m^2 以上的水流量密度的冷却水，冷却至 500℃以下的钢带温度。

[0031] 如上述 [2] 或 [3] 所述的热轧钢带的冷却方法，其中，在第一冷却工序中，在 550 ～ 600℃的钢带温度下停止冷却，在随后的第二冷却工序中，至少对钢带上表面浇注 2500L/min·m^2 以上的水流量密度的冷却水。

[0032] 如上述 [2] ～ [4] 中任一项所述的热轧钢带的冷却方法，其中，在第二冷却工序中，至少通过层流冷却或射流冷却对钢带上表面进行冷却，并且使所述层流冷却或射流冷却中来自冷却水供给喷嘴的冷却水的喷射速度为 7m/ 秒以上。

[0033] 如上述 [1] ～ [5] 中任一项所述的热轧钢带的冷却方法，其中，在第二冷却工序中，通过除水装置将浇注到钢带上表面的冷却水排出到钢带两侧的外部。

[0034] 如上述 [6] 所述的热轧钢带的冷却方法，其中，除水装置是设置在钢带上表面的宽度方向上的辊。

[0035] 如上述 [6] 所述的热轧钢带的冷却方法，其中，除水装置是喷射到钢带上表面的冷却水上的高压流体。

[0036] 如上述 [1] ～ [5] 中任一项所述的热轧钢带的冷却方法，其中，从 2 个冷却水供给喷嘴或 2 个冷却水供给喷嘴组喷射的冷却水，以在钢板通板线方向上倾斜相对的状态下分别从斜上方撞击钢带上表面后、两冷却水流在钢带表面上相撞的方式，从冷却水供给喷嘴向钢带上表面进行浇注。

[0037] 根据本发明的冷却方法，由于能够避免经过过渡沸腾温度范围，因而能够确实地避免由过渡沸腾引起的冷却不稳定，因此，冷却后的钢带的温度不均少，并且能够高精度地控制冷却终止温度。特别是能够高精度地控制以现有技术难以进行的 500℃以下的温度范围内的冷却终止。因此，对于现有技术中强度、延展性等材质参差不齐较大的、在 500℃以下进行卷取的热轧钢板来说，能够降低材质的参差不齐，并且能够进行较小变动的材质控制。

附图说明

[0038] 图 1A、图 1B 是示意地表示在利用冷却水的热轧钢带的冷却中钢带表面温度与热通量的关系的说明图。

[0039] 图 2 是表示在利用冷却水的热轧钢带的冷却中冷却水流量密度与过渡沸腾开始温度及核态沸腾开始温度的关系的图。

[0040] 图 3 是表示供于本发明实施的热轧钢带生产线的一例和该生产线中的本发明的实施情况的说明图。

[0041] 图 4 是表示在利用冷却水的热轧钢带的冷却中冷却水流量密度与钢带上表面上产生的液膜厚度的关系的图。

[0042] 图 5 是表示本发明中的冷却水的浇注方式的一个实施方式的说明图。

[0043] 图 6 是表示本发明中的冷却水的除水装置的一个实施方式的说明图。

[0044] 图 7 是表示本发明中的冷却水的除水装置的其他实施方式的说明图。

[0045] 图 8 是表示本发明中的冷却水的除水装置的其他实施方式的说明图。

[0046] 图 9 是实施例的发明例 1 中的后段出料辊道输出侧的钢带长度方向的温度图。

[0047] 图 10 是实施例的比较例 1 中的后段出料辊道输出侧的钢带长度方向的温度图。

[0048] 图中标号的含义如下所述。

[0049] 1 终轧机组

[0050] 2 出料辊道

[0051] 3 卷取机

[0052] 4a、4b 冷却水供给装置

[0053] 5、5a ～ 5c 冷却水供给喷嘴

[0054] 6 喷射水流

[0055] 7、7a、7b 除水用辊

[0056] 8a、8b 喷射喷嘴

[0057] 9 高压流体

[0058] 10 放射温度计

[0059] 20 前段出料辊道

[0060] 21 后段出料辊道

[0061] A1 ～ A5 喷嘴组

[0062] S 钢带

具体实施方式

[0063] 本发明的冷却方法是通过使热轧后的热轧钢带与冷却水接触而进行冷却的方法，具有第一冷却工序和随后的第二冷却工序，在上述第一冷却工序中，在比过渡沸腾开始温度高的钢带温度下停止冷却，在随后的第二冷却工序中，通过引起核态沸腾的水流量密度的冷却水进行冷却。

[0064] 另外，在本发明中，钢带温度是指钢带表面的温度。

[0065] 图 1A、图 1B 是示意地表示在通过浇注冷却水对钢带进行冷却时钢带表面温度与热通量（从钢带获得的热量）的关系的说明图，图 1A 示出了出料冷却中通常的冷却水流量密度下的热通量与沸腾形态，图 1B 示出了对于这种通常的出料冷却条件提高冷却水流量密度时的热通量和沸腾形态的变化。由此，在钢带表面温度高的范围出现膜态沸腾，热通量低。而且，作为导热特性，冷却水流量密度越大过渡沸腾开始温度及核态沸腾开始温度越向高温侧移动。因此，出料冷却工序分为高温侧的冷却工序（第一冷却工序）和随后的低温侧冷却工序（第二冷却工序），在高温侧的冷却工序中，在比过渡沸腾开始温度高的钢带温度下停止冷却，在随后的低温侧的冷却工序中，若提高冷却水流密度并在引起核态沸腾的冷却水流量密度下进行冷却，能够完全避免经过过渡沸腾温度范围。

[0066] 如图 1A、图 1B 所示，在通常的出料冷却中，以约 500℃为界限开始过渡沸腾，钢带温度降低的同时热通量变大。由此，将高温侧的冷却工序（第一冷却工序）设为约 500℃为止，实施通常的出料冷却直至所述约 500℃，在其之后的低温侧冷却工序中，若增大冷却水流量密度而全部在核态沸腾温度范围内进行冷却，则在出料冷却中不会发生过渡沸腾，因此能够高精度地控制冷却终止温度。

[0067] 这里，对实验室研究具体的冷却水流量密度与过渡沸腾开始温度以及核态沸腾开

始温度的关系的结果进行说明。在实验室中，对钢带宽度方向及长度方向进行使用多个排列的圆管喷嘴的射流冷却，此时通过改变冷却水流量密度（每单位面积浇注的冷却水量），由该冷却温度历史来研究过渡沸腾开始温度及核态沸腾开始温度。其结果示出于图 2。由此可知，冷却水流量密度变得越大则过渡沸腾开始温度及核态沸腾开始温度变得越高，而且，为了使核态沸腾开始温度为 500℃以上，只要使冷却水流量密度为 2000L/min·m^2 以上即可。另外，可知在作为一般的出料冷却的冷却水流量密度 1200L/min·m^2 以下（350 ～ 1200L/min·m^2）的范围内，过渡沸腾开始温度在约 500℃以下。

[0068] 由以上的结果可知，通过使第一冷却工序（高温侧的冷却工序）以作为一般的出料冷却条件的 350 ～ 1200L/min·m^2 的冷却水流量密度进行冷却，并且在比 500℃高的钢带温度下停止冷却，在随后的第二冷却工序（低温侧的冷却工序）中，通过以大约确实地引起核态沸腾的 2000L/min·m^2 以上的冷却水流量密度冷却至 500℃以下的钢带温度，使避免过渡沸腾温度范围的冷却成为可能，并且使不发生冷却不均以及冷却终止温度的稳定化和高精度的控制成为可能。

[0069] 而且，在热轧钢带的一般的出料冷却条件中，500℃左右开始过渡沸腾，根据钢带表面的性状不同过渡沸腾开始温度会有些许偏差，因此为了更确实地避免过渡沸腾温度范围，优选：在第一冷却工序中，在比 500℃高一定程度的钢带温度下停止冷却，在随后的第二冷却工序中，以比 2000L/min·m^2 大的冷却水流量密度进行冷却。具体而言，特别优选：在第一冷却工序中，在 550 ～ 600℃的钢带温度下停止冷却，在随后的第二冷却工序中，以 2500L/min·m^2 以上的冷却水流量密度进行冷却。

[0070] 其中，优选至少对钢带上表面供给上述第二冷却工序中的 2000L/min·m^2 以上、优选为 2500L/min·m^2 以上的水流量密度的冷却水。与此相对，对于钢带下表面，由于不会发生如钢带上表面那样滞留水为原因的温度不均，可以不必与钢带上表面同样地使用 2000L/min·m^2 以上的冷却水流量密度。但是，在钢带局部存在温度低的区域时很有可能使温度不均增大，因此优选使浇注到钢带下表面的冷却水也与钢带上表面同样地为 2000L/min·m^2 以上、优选为 2500L/min·m^2 以上的水流量密度。

[0071] 在本发明中，第一冷却工序中要求的条件为在比过渡沸腾开始温度高的钢带温度下停止冷却，因此，在该冷却工序内能够使冷却水流密度的大小适当地变化。例如，出于调节材质、缩短冷却时间等目的，可以使冷却水流密度的大小为工序前段＞工序后段。具体而言，可以在第一冷却工序的前段，以高于普通的出料冷却条件的大于 1200L/min·m^2 的冷却水流量密度进行冷却，在随后的该工序的后段，以普通的出料冷却条件 350 ～ 1200L/min·m^2 的冷却水流量密度进行冷却，在比 500℃高的钢带温度（优选 550 ～ 600℃）下停止冷却，然后在如上所述的条件下进行第二冷却工序。

[0072] 另外，根据图 2，如专利文献 5 中所述的方法，在后段出料辊道中，以水流量密度 0.05 ～ 0.3m^3/min·m^2（50 ～ 300L/min·m^2）的冷却水进行冷却时，过渡沸腾开始温度能够下降至 400℃，因此能够稳定冷却至 400℃，但在其以下的温度时，仍然会在过渡沸腾开始温度范围内进行冷却，因此不能避免冷却后的温度不均和冷却终止温度的精度降低。与此相对，在本发明的优选实施方式中，由于低温侧能够完全在核态沸腾温度范围内进行冷却，因此不管冷却终止温度降到多低，都不会发生冷却后的温度不均和冷却终止温度的精度降低。

[0073] 图 3 示出了供于本发明实施的热轧钢带生产线的一例和该生产线中的本发明的实施状况。在该热轧钢带生产线中，通过终轧机组 1 轧制为最终产品板厚的钢带 S（热轧钢带）在出料辊道 2 被冷却至规定温度后，在卷取机 3 被卷取。从设置于出料辊道 2 的上方的冷却水供给装置 4a 和设置于辊道辊之间的冷却水供给装置 4b 向在出料辊道 2 上输送的钢带 S 的上下表面分别浇注冷却水。作为该冷却水供给装置 4a、4b，可以使用通常的冷却水供给喷嘴（例如层流冷却或射流冷却用的圆管喷嘴和狭缝喷嘴、喷雾冷却用的喷雾喷嘴等），但并不限于这些。

[0074] 上述出料辊道 2 由上游侧的出料辊道部分 20（以下为了方便称为“前段出料辊道 20”）和下游侧的出料辊道部分 21（以下为了方便称为“后段出料辊道 21”）组成，在前段出料辊道 20 中进行第一冷却工序（高温侧的冷却工序），随后在后段出料辊道 21 中进行第二冷却工序（低温侧的冷却工序）。另外，在图 3 中，10 是分别设置于终轧机组 1 与前段出料辊道 20 之间、前段出料辊道 20 与后段出料辊道 21 之间、以及出料辊道 2 与卷取机 3 之间的用于测定钢带温度的放射温度计。

[0075] 使钢带与冷却水接触而进行冷却的方式包括层流冷却、喷雾冷却、射流冷却、气雾冷却等。其中，层流冷却是指从圆管或狭缝状的喷嘴喷射具有连续性的层流状态的液体的冷却方式。喷雾冷却是指通过加压液体而进行喷射使液体作为液滴群喷射的冷却方式。射流冷却是指从圆管或狭缝状的喷嘴喷射具有连续性的扰流状态的液体的冷却方式。气雾冷却是指使加压后的气体与液体混合形成液滴群来喷雾液体的冷却方式。

[0076] 在本发明中，使用的冷却方式没有特别的限制，但作为钢带上表面的冷却方式，优选冷却水的直进性优良且具有连续性的层流冷却或射流冷却。

[0077] 在如上所述本发明的优选实施方式中，第二冷却工序中必须使浇注到钢带上的冷却水流量密度为 2000L/min·m^2 以上，优选为 2500L/min·m^2 以上。将这种程度的水量喷射到钢带时，在钢带上表面冷却水仅向钢带两侧方向排水，因此钢带上形成了厚的液膜。因此，若不以贯穿该液膜并在钢带上产生直接撞击力的方式浇注冷却水，则即使大流量浇注也可能存在发生膜态沸腾的危险性。图 4 示出了在板宽 2m 的钢带上表面浇注冷却水的实验中，研究冷却水的水流量密度与钢带上表面的液膜厚度之间的关系的结果，可知在 2000L/min·m^2 以上的水流量密度的情况下，形成接近 50mm 的液膜厚度。而且，为了贯穿这种液膜，优选设为冷却水的直进性高、具有连续性的层流冷却或射流冷却。在喷雾冷却或气雾冷却中，从喷嘴喷射的冷却水分裂为液滴状，这种液滴状态的浇注空气阻力变大从而容易减速，因此不适用于贯穿液膜。

[0078] 作为层流冷却和射流冷却中使用的冷却水供给喷嘴，包括普通的圆管喷嘴和狭缝喷嘴等，采用任何一种均没有问题。

[0079] 根据层流冷却或射流冷却，以 2000L/min·m^2 以上、优选 2500L/min·m^2 以上的水流量密度的冷却水对钢带上表面进行冷却时，优选使来自圆管喷嘴或狭缝喷嘴的冷却水的喷射速度（喷嘴喷射口的冷却水流速）为 7 米 / 秒以上。如上所述，为了得到用于通过层流冷却或射流冷却稳定地穿透钢带上表面的液膜的动量，需要 7 米 / 秒以上的流速。

[0080] 另一方面，对于钢带下表面，浇注的冷却水由于重力立即脱离钢带表面，从而不能在钢带表面上形成液膜，因此可以使用喷雾冷却等冷却方式，在使用层流冷却或射流冷却的情况下，也可以使冷却水的喷射速度小于 7 米 / 秒。

[0081] 另外，由于圆管喷嘴的大小较小，每个的水量小，可以在钢带宽度方向及长度方向设置多个喷嘴，以使得到规定的水流量密度。而且，圆管喷嘴的孔径或狭缝喷嘴的缝隙优选为约 3mm ～约 25mm。当喷嘴的孔径或缝隙小于 3mm 时，容易发生由异物引起的堵塞，另一方面，当大于 25mm 时，为了确保如上所述的喷射速度（7 米 / 秒以上），流量过多而不经济。

[0082] 另外，钢带上表面存在冷却水的滞留时，会发生由该滞留水引起的局部过冷却，成为冷却不均的原因，因此优选迅速除去浇注到钢带上表面的冷却水。因此，优选进行下述中的至少一个方法：(i) 采用冷却水不在钢带上表面滞留的浇注方式；(ii) 通过除水装置将浇注到钢带上表面的冷却水强制排出到钢带两侧的外部。

[0083] 首先，在上述 (i) 的方法中，在层流冷却、射流冷却等中，从 2 个冷却水供给喷嘴或 2 个冷却水供给喷嘴组喷射的冷却水，以在钢板通板线方向上倾斜相对的状态下分别从斜上方撞击钢带上表面后、两冷却水流在钢带表面上相撞的方式，从冷却水供给喷嘴向钢带上表面进行浇注。在这种浇注方式中，由于两冷却水流在钢带表面上相撞，水被推向钢带宽度方向，并被迅速排出到钢带两侧的外部。因此，浇注到钢带上表面的冷却水从钢带上表面被迅速除去而并不滞留。

[0084] 图 5 示出了如上所述的一个实施方式，沿钢带通板线方向设置 2 个层流冷却或射流冷却用的喷嘴组 A1、A2，各喷嘴组 A1、A2 由沿钢带通板线方向相间设置的 3 个冷却水供给喷嘴 5a ～ 5c、冷却水供给喷嘴 5d ～ 5f（例如，圆管喷嘴、狭缝喷嘴等）构成。而且，这些来自 2 个喷嘴组 A1、A2 的冷却水的喷射水流 6 以在钢板通板线方向上倾斜相对的状态分别从斜上方撞击到钢带 S 的上表面后，两冷却水流在钢带表面上相撞，结果冷却水被推向钢带宽度方向，并被迅速排出到钢带两侧的外部。另外，图 5 的实施方式中，可以以从 2 个喷嘴组 A1、A2 喷射的冷却水流在钢带表面上相撞的方式进行浇注，也可以以从 2 个冷却水供给喷嘴 5 喷射的冷却水流在钢带表面上相撞的方式进行浇注。

[0085] 这里，相对于钢带 S 的上表面从斜上方撞击的喷射水流 6 与钢带表面所成角度 θ 越小，除水性越良好，能够减少钢带上的滞留水。当角度 θ 大于 60° 时，虽然到达钢带后的冷却水（滞留水）沿钢带表面流动，但其流动方向的速度分量变小，发生反方向的流动。结果例如从钢带前进方向的上游侧向下游侧喷射的冷却水供给喷嘴 5 的情况下，在喷射水流 6 的到达位置（撞击位置）的上游侧一部分滞留水流出，存在冷却范围变得不稳定的危险性。例如，使用如图 5 所示的喷嘴组 A1、A2 的情况下，在喷嘴组 A1 的最上游侧的冷却水供给喷嘴 5a 的喷射水流 6 的到达位置（撞击位置）的上游侧，一部分滞留水可能流出。因此，为了各自撞击到钢带上表面的 2 个（或 2 组）水流确实沿相对方向流动、从而使两水流在钢带表面上相撞，使角度 θ 为 60° 以下，优选使其为 50° 以下。但是，在使角度 θ 小于 45°、特别是小于 30° 的情况下，为了确保相对于钢带 S 的冷却水供给喷嘴 5 的高度位置，冷却水供给喷嘴 5 与钢带 S 的距离变得过长，从而喷射水流 6 分散，冷却特性可能降低，因此优选使角度 θ 为 30° 以上，更加优选为 45° 以上。

[0086] 其次，在上述 (ii) 的方法中，优选使用能够迅速地将浇注到钢带上表面的冷却水（即尽量靠近浇注位置）强制排出到钢带两侧的外部的除水装置，作为这种除水装置，例如能够使用沿钢带上表面的宽度方向配置的除水用辊。即，通过连接到钢带上表面的辊拦截浇注到钢带上表面的冷却水，通过使冷却水流向钢带宽度方向，从钢带两侧被强制排出到外部。

[0087] 图 6 是示出使用辊作为除水装置的情况下的一个实施方式的图，相对于由层流冷却或射流冷却用的多个冷却水供给喷嘴 5 构成的喷嘴组 A3 的浇注位置，在该钢带通板线上游侧和下游侧分别设置除水用辊 7a、7b。从喷嘴组 A3 浇注的冷却水（在该例中，垂直浇注的冷却水）在除水用辊 7a、7b 之间被拦截，流向钢带 S 的宽度方向，从钢带两侧被强制排出到外部。

[0088] 图 7 是示出使用辊作为除水装置时的其他实施方式的图，相对于由层流冷却或射流冷却用的多个冷却水供给喷嘴 5 组成的喷嘴组 A4 的浇注位置，在其钢带通板线下游侧设置除水用辊 7，以使从喷嘴组 A4 向钢带通板线下游侧倾斜地浇注冷却水。从喷嘴组 A4 浇注的冷却水由于被除水用辊 7 拦截而流向钢带 S 的宽度方向，从钢带两侧被强制地排出到外部。

[0089] 而且，作为除水装置，可以使用吹扫用的高压流体（高压气体、高压水等）。即，对于浇注到钢带上表面并沿钢带表面流动的冷却水，通过从钢带通板线方向的斜上方吹入高压流体来拦截冷却水，使冷却水流向钢带宽度方向，从而从钢带两侧被强制地排出到外部。作为高压流体，通常可以使用空气等气体或高压水等。

[0090] 图 8 是示出所述的一个实施方式的图，相对于由层流冷却或射流冷却用的多个冷却水供给喷嘴 5 组成的喷嘴组 A5 的浇注位置，在其钢带通板线上游侧与下游侧分别设置高压流体的喷射喷嘴 8a、8b，对于自喷嘴组 A5 喷射而到达钢带 S 的上表面的冷却水，通过喷嘴 8a、8b 从钢带通板线方向的斜上方吹入高压流体 9。由此，冷却水被高压流体 9 拦截从而流向钢带宽度方向，并从钢带两侧被强制地排出到外部。

[0091] 另外，作为除水装置，可以并用上述除水用辊和高压流体。

[0092] 实施例

[0093] 在图 3 所示的热轧钢带生产线中，以如下条件制造热轧钢带。将厚 240mm 的钢坯在加热炉中加热至 1200℃后，通过粗轧机轧制至厚 35mm，然后通过终轧机组 1 轧制至板厚 3.2mm。将轧制后的钢带在前段出料辊道 20 及后段出料辊道 21 上从 860℃冷却至 300℃（目标冷却终止温度）后，利用卷取机 3 进行卷取。这里，从材料的观点出发，将冷却终止温度的目标容许偏差设为钢带全长在 60℃以内，优选为 40℃以内。

[0094] 设置于前段出料辊道 20 上的冷却水供给喷嘴 5 在钢带上表面侧为圆管层流喷嘴、在钢带下表面侧为喷雾喷嘴，除发明例 12 以外各自以 1000L/min·m^2 的水流量密度浇注冷却水，而且，将钢带上表面侧的冷却水的喷射速度设为 4m/ 秒。而且，为了能够实施专利文献 4，设有能够将冷却水温从常温调节到 90℃的机构。

[0095] 另一方面，后段出料辊道 21 除了能够设有与前段出料辊道 20 相同形式的喷嘴之外，还可以设有各种形式的喷嘴，而且能够调节冷却水的流量，并且具备能够实施现有技术（专利文献 1、2、4、5）的方法的结构和功能。

[0096] 另外，在后段出料辊道 21 上，调节喷嘴直径，使采用如图 5、图 7 所示使喷嘴倾斜从而倾斜地喷射冷却水的形式时为射流，使采用如图 6、图 8 所示使喷嘴垂直从而垂直状地喷射冷却水的形式时为层流。其原因如下。一般来说，在圆管喷嘴的情况下，当喷嘴直径 × 液体流速大时成为扰流、即射流，当小时则成为层流。因此，即使是相同的流速，通过改变喷嘴直径也能够任意选择射流和层流。另一方面，在使喷嘴倾斜而喷射冷却水的情况下，必须倾斜地贯穿钢带上表面的液膜，即使钢带上表面的液膜为相同厚度，与从垂直方向喷射

的情况相比，撞击液膜表面而到达钢带的距离变长。因此，在使喷嘴倾斜而喷射冷却水的情况下，为了具有贯穿力，使喷嘴直径大从而成为射流，在使来自垂直方向的冷却水进行撞击时，使喷嘴直径小从而成为层流。

[0097] 在出料辊道 2 的长度方向上设置多个冷却水供给喷嘴 5，并且使其各自能够分别进行开－关控制。而且，在终轧机组 1 与前段出料辊道 20 之间、前段出料辊道 20 与后段出料辊道 21 之间、出料辊道 2 与卷取机 3 之间分别设置放射温度计 10，从而通过这些放射温度计 10 能够测定钢带长度方向的温度。而且，为了对前段出料辊道 20 及后段出料辊道 21 的各输出侧的钢带温度进行调节，计算放射温度计 10 的输出温度与目标温度之差，调节一个钢带内出料辊道 2 上设置的冷却水供给喷嘴 5 的使用个数。

[0098] 另外，通过事先调节确认了在前段出料辊道 20 中以 30℃的冷却水冷却钢带时，水流量密度 1000L/min·m^2 时在约 500℃下开始过渡沸腾，水流量密度 2000L/min·m^2 时在约 600℃下开始过渡沸腾。

[0099] 在本实施例中，研究以冷却终止后的钢带长度方向平均温度及一个钢带（卷材）内的温度的（最大值－最小值）定义的温度偏差。将该结果与冷却条件一同示出于表 1 及表 2。

[0100] [发明例 1]

[0101] 在前段出料辊道 20 中通过 30℃的冷却水将轧制后的热轧钢带冷却至 550℃，然后，在后段出料辊道 21 中，如图 5 所示以在钢带通板线方向上倾斜相对的状态从 2 个圆管射流喷嘴组 A1、A2 浇注冷却水从而对钢带上表面进行射流冷却，对钢带下表面侧进行喷雾冷却。使后段出料辊道 21 中使用的冷却水的水温为 30℃、水流量密度在上表面侧和下表面侧均为 2500L/min·m^2、钢带上表面侧的喷射速度为 4 米 / 秒。

[0102] 在本发明例中，冷却终止后的钢带长度方向的平均温度为 302℃，大致达到目标。而且，钢带长度方向温度偏差为 50℃，也在目标值以内。另外，后段出料辊道 21 输出侧的钢带长度方向的温度表示出于图 9。

[0103] [发明例 2]

[0104] 在前段出料辊道 20 中通过 30℃的冷却水将轧制后的热轧钢带冷却至 550℃，然后，在后段出料辊道 21 中，如图 5 所示以在钢带通板线方向上倾斜相对的状态从 2 个圆管射流喷嘴组 A1、A2 浇注冷却水从而对钢带上表面侧进行射流冷却，对钢带下表面侧进行喷雾冷却。使后段出料辊道 21 中使用的冷却水的水温为 30℃、水流量密度在上表面侧和下表面侧均为 3000L/min·m^2、钢带上表面侧的喷射速度为 4 米 / 秒。

[0105] 在本发明例中，冷却终止后的钢带长度方向的平均温度为 303℃，大致达到目标。而且，钢带长度方向温度偏差为 40℃，也在目标值以内且为优选温度范围。与发明例 1 相比钢带长度方向温度偏差变小，认为这是由于与发明例 1 相比增大了后段出料辊道 21 上的冷却水流量密度的缘故。

[0106] [发明例 3]

[0107] 在前段出料辊道 20 中通过 30℃的冷却水将轧制后的热轧钢带冷却至 550℃，然后，在后段出料辊道 21 中，如图 5 所示以在钢带通板线方向上倾斜相对的状态从 2 个圆管射流喷嘴组 A1、A2 浇注冷却水从而对钢带上表面侧进行射流冷却，对钢带下表面侧进行喷雾冷却。使后段出料辊道 21 中使用的冷却水的水温为 30℃、水流量密度在上表面侧和下表

面侧均为 2500L/min·m^2、钢带上表面侧的喷射速度为 7 米 / 秒。

[0108] 在本发明例中，冷却终止后的钢带长度方向的平均温度为 297℃，大致达到目标。而且，钢带长度方向温度偏差为 38℃，也在目标值以内且为优选温度范围。与发明例 1 相比钢带长度方向温度偏差变小，认为这是由于，与发明例 1 相比通过增大后段出料辊道 21 上的冷却水的喷射速度，贯穿钢带上表面的冷却水液膜的作用增大，能够进行稳定的核态沸腾。

[0109] [发明例 4]

[0110] 在前段出料辊道 20 中通过 30℃的冷却水将轧制后的热轧钢带冷却至 550℃，然后，在后段出料辊道 21 中，如图 5 所示以在钢带通板线方向上倾斜相对的状态从 2 个圆管射流喷嘴组 A1、A2 浇注冷却水从而对钢带上表面侧进行射流冷却，对钢带下表面侧进行喷雾冷却。使后段出料辊道 21 中使用的冷却水的水温为 30℃、水流量密度在上表面侧和下表面侧均为 2000L/min·m^2、钢带上表面侧的喷射速度为 7 米 / 秒。

[0111] 在本发明例中，冷却终止后的钢带长度方向的平均温度为 298℃，大致达到目标。而且，钢带长度方向温度偏差为 40℃，也在目标值以内且为优选温度范围。

[0112] [发明例 5]

[0113] 在前段出料辊道 20 中通过 30℃的冷却水将轧制后的热轧钢带冷却至 600℃，然后，在后段出料辊道 21 中，如图 5 所示以在钢带通板线方向上倾斜相对的状态从 2 个圆管射流喷嘴组 A1、A2 浇注冷却水从而对钢带上表面侧进行射流冷却，对钢带下表面侧进行喷雾冷却。使后段出料辊道 21 中使用的冷却水的水温为 30℃、水流量密度在上表面侧和下表面侧均为 2800L/min·m^2、钢带上表面侧的喷射速度为 7 米 / 秒。

[0114] 在本发明例中，冷却终止后的钢带长度方向的平均温度为 301℃，大致达到目标。而且，钢带长度方向温度偏差为 36℃，也在目标值以内且为优选温度范围。

[0115] [发明例 6]

[0116] 在前段出料辊道 20 中通过 30℃的冷却水将轧制后的热轧钢带冷却至 550℃，然后，在后段出料辊道 21 中，如图 5 所示以在钢带通板线方向上倾斜相对的状态从 2 个圆管射流喷嘴组 A1、A2 浇注冷却水从而对钢带上表面侧进行射流冷却，对钢带下表面侧进行喷雾冷却。使后段出料辊道 21 中使用的冷却水的水温为 30℃、水流量密度在上表面侧和下表面侧均为 3000L/min·m^2、钢带上表面侧的喷射速度为 7 米 / 秒。

[0117] 在本发明例中，冷却终止后的钢带长度方向的平均温度为 297℃，大致达到目标。而且，钢带长度方向温度偏差为 25℃，也在目标值以内且为优选温度范围。与发明例 1 相比钢带长度方向温度偏差变小，认为这是由于，与发明例 1 相比通过增大后段出料辊道 21 上的冷却水流量密度并且增大冷却水的喷射速度，由于如上所述的原因从而能够进行稳定的核态沸腾。

[0118] [发明例 7]

[0119] 在前段出料辊道 20 中通过 30℃的冷却水将轧制后的热轧钢带冷却至 550℃，然后，在后段出料辊道 21 中，如图 8 所示在进行利用从喷射喷嘴 8a、8b 喷射的高压流体 9 的除水吹扫的同时，从圆管层流喷嘴组 5A 浇注冷却水从而对钢带上表面侧进行层流冷却，对钢带下表面侧进行喷雾冷却。使后段出料辊道 21 中使用的冷却水的水温为 30℃、水流量密度在上表面侧和下表面侧均为 2500L/min·m^2、钢带上表面侧的喷射速度为 4 米 / 秒。

[0120] 在本发明例中，冷却终止后的钢带长度方向的平均温度为 294℃，大致达到目标。而且，钢带长度方向温度偏差为 47℃，也在目标值以内。

[0121] [发明例 8]

[0122] 在前段出料辊道 20 中通过 30℃的冷却水将轧制后的热轧钢带冷却至 550℃，然后，在后段出料辊道 21 中，如图 8 所示在进行利用从喷射喷嘴 8a、8b 喷射的高压流体 9 的除水吹扫的同时，从圆管层流喷嘴组 5A 垂直浇注冷却水从而对钢带上表面侧进行层流冷却，对钢带下表面侧进行喷雾冷却。使后段出料辊道 21 中使用的冷却水的水温为 30℃、水流量密度在上表面侧和下表面侧均为 2500L/min·m^2、钢带上表面侧的喷射速度为 7 米 / 秒。

[0123] 在本发明例中，冷却终止后的钢带长度方向的平均温度为 308℃，大致达到目标。而且，钢带长度方向温度偏差为 38℃，也在目标值以内并且为优选范围。与发明例 7 相比钢带长度方向温度偏差变小，认为这是由于，与发明例 1 相比通过增大后段出料辊道 21 上的冷却水的喷射速度，贯穿钢带上表面的冷却水液膜的作用增大，从而能够进行稳定的核态沸腾。

[0124] [发明例 9]

[0125] 在前段出料辊道 20 中通过 30℃的冷却水将轧制后的热轧钢带冷却至 550℃，然后，在后段出料辊道 21 中，如图 6 所示在浇注位置的钢带通板线上游侧和下游侧设置除水用辊 7a、7b 二进行除水的同时，从圆管层流喷嘴组 A3 垂直浇注冷却水从而对钢带上表面侧进行层流冷却，对钢带下表面侧进行喷雾冷却。使后段出料辊道 21 中使用的冷却水的水温为 30℃、水流量密度在上表面侧和下表面侧均为 2500L/min·m^2、钢带上表面侧的喷射速度为 7 米 / 秒。

[0126] 在本发明例中，冷却终止后的钢带长度方向的平均温度为 306℃，大致达到目标。而且，钢带长度方向温度偏差为 36℃，也在目标值以内并且为优选范围。

[0127] [发明例 10]

[0128] 在前段出料辊道 20 中通过 30℃的冷却水将轧制后的热轧钢带冷却至 550℃，然后，在后段出料辊道 21 中，如图 7 所示在浇注位置的钢带通板线下游侧设置除水用辊 7 而进行除水的同时，从圆管射流喷嘴组 A4 向钢带通板线下游侧倾斜（与钢带表面所成角度 α :45°）地浇注冷却水从而对钢带上表面侧进行射流冷却，对钢带下表面侧进行喷雾冷却。使后段出料辊道 21 中使用的冷却水的水温为 30℃、水流量密度在上表面侧和下表面侧均为 2500L/min·m^2、钢带上表面侧的喷射速度为 7 米 / 秒。

[0129] 在本发明例中，冷却终止后的钢带长度方向的平均温度为 302℃，大致达到目标。而且，钢带长度方向温度偏差为 37℃，也在目标值以内并且为优选范围。

[0130] [发明例 11]

[0131] 在前段出料辊道 20 中通过 30℃的冷却水将轧制后的热轧钢带冷却至 550℃，然后，在后段出料辊道 21 中，如图 5 所示以在钢带通板线方向上倾斜相对的状态从 2 个狭缝射流喷嘴组 A1、A2 浇注冷却水从而对钢带上表面侧进行射流冷却，对钢带下表面侧进行喷雾冷却。使后段出料辊道 21 中使用的冷却水的水温为 30℃、水流量密度在上表面侧和下表面侧均为 2500L/min·m^2、钢带上表面侧的喷射速度为 4 米 / 秒。

[0132] 在本发明例中，冷却终止后的钢带长度方向的平均温度为 307℃，大致达到目标。而且，钢带长度方向温度偏差为 43℃，也在目标值以内。

[0133] [发明例 12]

[0134] 在前段出料辊道 20 中使用 30℃的冷却水将轧制后的热轧钢带在其前半段以水流量密度 2000L/min •m^2 冷却至 650℃，在其后半段以水流量密度 1000L/min •m^2 冷却至 550℃。然后，在后段出料辊道 21 中，如图 5 所示以在钢带通板线方向上倾斜相对的状态从 2 个圆管射流喷嘴组 A1、A2 浇注冷却水从而对钢带上表面侧进行射流冷却，对钢带下表面侧进行喷雾冷却。使后段出料辊道 21 中使用的冷却水的水温为 30℃、水流量密度在上表面侧和下表面侧均为 2500L/min • m^2、钢带上表面侧的喷射速度为 4 米 / 秒。

[0135] 在本发明例中，冷却终止后的钢带长度方向的平均温度为 303℃，大致达到目标。而且，钢带长度方向温度偏差为 45℃，也在目标值以内。

[0136] [比较例 1]

[0137] 在前段出料辊道 20 中使用 30℃的冷却水将轧制后的热轧钢带冷却至 550℃，然后，在后段出料辊道 21 中进行冷却。在整个出料辊道中，使钢带上表面侧为层流冷却、钢带下表面侧为喷雾冷却、钢带上表面侧的冷却水水流量密度为 1000L/min • m^2、喷射速度为 4 米 / 秒、钢带下表面侧的冷却水水流量密度为 1000L/min • m^2。

[0138] 在本比较例中，冷却终止后的钢带长度方向的平均温度为 280℃，比目标温度低 20℃。另外，钢带长度方向温度偏差为 80℃，也比目标大。另外，将后段出料辊道 21 输出侧中的钢带长度方向的温度表示出于图 10。

[0139] [比较例 2]

[0140] 根据专利文献 1 的方法进行热轧钢带的冷却。在前段出料辊道 20 中使用 30℃的冷却水将轧制后的热轧钢带冷却至 550℃，然后，在后段出料辊道 21 中仅对钢带下表面浇注冷却水进行冷却。在后段出料辊道 21 中为喷雾冷却，从喷雾喷嘴向钢带下表面喷射水流量密度 1000L/min • m^2 的冷却水。

[0141] 在本比较例中，冷却终止后的钢带长度方向的平均温度为 290℃，是比目标温度稍低的程度，而钢带长度方向温度偏差为 120℃，变得比目标大。即使仅在钢带下表面冷却到冷却变得不稳定的 500℃以下的温度范围，也不能避免通过过渡沸腾范围，因此认为根据钢带长度位置的不同，温度急剧降低。

[0142] [比较例 3]

[0143] 根据专利文献 2 的方法进行热轧钢带的冷却。在前段出料辊道 20 中通过 30℃的冷却水冷却至 550℃，然后，在后段出料辊道 21 中通过 90℃的冷却水进行冷却。在整个出料辊道中，使钢带上表面侧为层流冷却、钢带下表面侧为喷雾冷却，在后段出料辊道 21 中，使冷却水水流量密度为 1000L/min • m^2、钢带上表面侧的喷射速度为 4 米 / 秒。

[0144] 在本比较例中，冷却终止后的钢带长度方向的平均温度为 290℃，比目标温度稍低，而钢带长度方向温度偏差为 70℃，变得比目标大。认为通过在后段出料辊道 21 中使用温水使过渡沸腾开始温度降低，但仍然不能避免从膜态沸腾到过渡沸腾的改变，因此钢带长度方向温度不均。

[0145] [比较例 4]

[0146] 根据专利文献 4 的方法进行热轧钢带的冷却。在前段出料辊道 20 中通过 80℃的冷却水将轧制后的热轧钢带冷却至 400℃，然后，在后段出料辊道 21 中通过 30℃的冷却水进行冷却。在整个出料辊道中，使钢带上表面侧为层流冷却、钢带下表面侧为喷雾冷却，在

后段出料辊道 21 中，使冷却水水流量密度为 1000L/min·m^2、钢带上表面侧的喷射速度为 4 米 / 秒。

[0147] 在本比较例中，前段出料辊道输出侧温度以 400℃作为目标，但钢带长度方向温度波动，因此此时钢带长度方向温度偏差为 80℃。这样，前段出料辊道 20 输出侧温度不均的结果导致在后段出料辊道 21 的输出侧连锁地出现钢带长度方向温度不均，结果尽管后段出料辊道输出侧温度的平均温度为 295℃，大致达到目标，但钢带长度方向温度偏差为 95℃，比目标大。认为在前段出料辊道 20 中通过使用温水降低过渡沸腾开始温度，但在前段出料辊道 20 中冷却至 400℃时，过渡沸腾开始温度不怎么降低，在前段出料辊道 20 内跨过了过渡沸腾范围，温度不均变大。

[0148] [比较例 5]

[0149] 根据专利文献 5 的方法进行热轧钢带的冷却。在前段出料辊道 20 中通过 30℃的冷却水冷却至 550℃，然后，在后段出料辊道 21 中通过 30℃、水流量密度 200L/min·m^2 的冷却水对钢带上表面侧和下表面侧一同进行喷雾冷却。

[0150] 在本比较例中，冷却终止后的钢带长度方向的平均温度为 309℃，大致为目标温度，但钢带长度方向温度偏差为 70℃，比目标大。在前段出料辊道 20 中，认为通过减少冷却水流量密度使过渡沸腾开始温度降低，但不能避免从膜态沸腾到过渡沸腾的冷却方式的改变，因此冷却终止后的温度不均。

[0151] [比较例 6]

[0152] 在前段出料辊道 20 中通过 30℃的冷却水将轧制后的热轧钢带冷却至 550℃，然后，在后段出料辊道 21 中，如图 5 所示以在钢带通板线方向上倾斜相对的状态从 2 个圆管射流喷嘴组 A1、A2 浇注冷却水从而对钢带上表面侧进行射流冷却，对钢带下表面侧进行喷雾冷却。使后段出料辊道 21 中使用的冷却水的水温为 30℃、水流量密度在上表面侧为 1500L/min·m^2、在钢带下表面侧为 1800L/min·m^2、钢带上表面侧的喷射速度为 4 米 / 秒。

[0153] 在本比较例中，冷却终止后的钢带长度方向的平均温度为 308℃，大致达到目标，但钢带长度方向温度偏差为 65℃，比目标温度大。这是因为，由于在后段出料辊道 21 中的冷却水流量密度小，因而不能进行稳定的核态沸腾。

[0154] [比较例 7]

[0155] 在前段出料辊道 20 中通过 30℃的冷却水将轧制后的热轧钢带冷却至 450℃，然后，在后段出料辊道 21 中，如图 5 所示以在钢带通板线方向上倾斜相对的状态从 2 个圆管射流喷嘴组 A1、A2 浇注冷却水从而对钢带上表面侧进行射流冷却，对钢带下表面侧进行喷雾冷却。使后段出料辊道 21 中使用的冷却水的水温为 30℃、水流量密度在上表面侧和下表面侧均为 2500L/min·m^2、钢带上表面侧的喷射速度为 4 米 / 秒。

[0156] 在本比较例中，冷却终止后的钢带长度方向的平均温度为 280℃，大致达到目标，但钢带长度方向温度偏差为 70℃，比目标温度大。前段出料辊道 20 中的钢带长度方向温度偏差为 60℃，此时已经产生了温度偏差。这是因为，由于在前段出料辊道 20 中冷却至 500℃以下，因而在前段出料辊道 20 中产生了从膜态沸腾到过渡沸腾的冷却方式的变化。因此，认为即使在后段出料辊道 21 中以稳定的核态沸腾进行冷却，由于原本产生了温度偏差，因而不能达到目标温度偏差。

[0157]

表 1

分类	出料冷却方式		*1 *2	冷却水温		钢带温度 *4				
	前段出料中的冷却水流量密度	后段出料中的冷却水流量密度及流速 *3	后段出料中的除水方式	前段出料(℃)	后段出料(℃)	前段出料输出侧温度(℃)		后段出料输出侧温度(℃)		
						长度平均	长度偏差	长度平均	长度偏差
发明例 1	上：圆管层流 1000 L/min·m^2 下：喷雾 1000 L/min·m^2	上：圆管射流 2500 L/min·m^2,流速 4m/s 下：喷雾 2500 L/min·m^2	图 5	30	30	550	25	302	50
发明例 2	上：圆管层流 1000 L/min·m^2 下：喷雾 1000 L/min·m^2	上：圆管射流 3000 L/min·m^2,流速 4m/s 下：喷雾 3000 L/min·m^2	图 5	30	30	550	21	303	40
发明例 3	上：圆管层流 1000 L/min·m^2 下：喷雾 1000 L/min·m^2	上：圆管射流 2500 L/min·m^2,流速 7m/s 下：喷雾 2500 L/min·m^2	图 5	30	30	550	26	297	38
发明例 4	上：圆管层流 1000 L/min·m^2 下：喷雾 1000 L/min·m^2	上：圆管射流 2000 L/min·m^2,流速 7m/s 下：喷雾 2000 L/min·m^2	图 5	30	30	510	32	298	40
发明例 5	上：圆管层流 1000 L/min·m^2 下：喷雾 1000 L/min·m^2	上：圆管射流 2800 L/min·m^2,流速 7m/s 下：喷雾 2800 L/min·m^2	图 5	30	30	600	17	301	36
发明例 6	上：圆管层流 1000 L/min·m^2 下：喷雾 1000 L/min·m^2	上：圆管射流 3000 L/min·m^2,流速 7m/s 下：喷雾 3000 L/min·m^2	图 5	30	30	550	23	297	25
发明例 7	上：圆管层流 1000 L/min·m^2 下：喷雾 1000 L/min·m^2	上：圆管层流 2500 L/min·m^2,流速 4m/s 下：喷雾 2500 L/min·m^2	图 8	30	30	550	24	294	47
发明例 8	上：圆管层流 1000 L/min·m^2 下：喷雾 1000 L/min·m^2	上：圆管层流 2500 L/min·m^2,流速 7m/s 下：喷雾 2500 L/min·m^2	图 8	30	30	550	26	308	38
发明例 9	上：圆管层流 1000 L/min·m^2 下：喷雾 1000 L/min·m^2	上：圆管层流 2500 L/min·m^2,流速 7m/s 下：喷雾 2500 L/min·m^2	图 6	30	30	550	23	306	36
发明例 10	上：圆管层流 1000 L/min·m^2 下：喷雾 1000 L/min·m^2	上：圆管射流 2500 L/min·m^2,流速 7m/s 下：喷雾 2500 L/min·m^2	图 7	30	30	550	21	302	37

*1 上：钢带上表面侧的冷却条件
下：钢带下表面侧的冷却条件
*2 圆管层流：使用圆管喷嘴的层流冷却
喷雾：使用喷雾喷嘴的喷雾冷却
圆管射流：使用圆管喷嘴的射流冷却
狭缝射流：使用狭缝喷嘴的射流冷却
*3 流速：冷却水的喷射速度
*4 长度平均：钢带长度方向的平均温度
长度偏差：钢带长度方向的温度偏差

[0158]

表 2

分类	出料冷却方式 *1 *2			冷却水温		钢带温度 *4			
	前段出料中的冷却水流量密度	后段出料中的冷却水流量密度及流速 *3	后段出料中的除水方式	前段出料(℃)	后段出料(℃)	前段出料输出侧温度(℃) 长度平均	前段出料输出侧温度(℃) 长度偏差	后段出料输出侧温度(℃) 长度平均	后段出料输出侧温度(℃) 长度偏差
发明例 11	上：圆管层流 1000 L/min·m^2 下：喷雾 1000 L/min·m^2	上：狭缝射流 2500 L/min·m^2,流速 4m/s 下：喷雾 2500 L/min·m^2	图 5	30	30	550	25	307	43
发明例 12	(前半) 上：圆管层流 2000 L/min·m^2 下：喷雾 2000 L/min·m^2 (后半) 上：圆管层流 1000 L/min·m^2 下：喷雾 1000 L/min·m^2	上：圆管射流 2500 L/min·m^2,流速 4m/s 下：喷雾 2500 L/min·m^2	图 5	30	30	550	27	303	45
比较例 1	上：圆管层流 1000 L/min·m^2 下：喷雾 1000 L/min·m^2	上：圆管层流 1000 L/min·m^2,流速 4m/s 下：喷雾 1000 L/min·m^2	-	30	30	550	25	280	80
比较例 2	上：圆管层流 1000 L/min·m^2 下：喷雾 1000 L/min·m^2	上：无 下：喷雾 1000 L/min·m^2	-	30	30	550	24	290	120
比较例 3	上：圆管层流 1000 L/min·m^2 下：喷雾 1000 L/min·m^2	上：圆管层流 1000 L/min·m^2,流速 4m/s 下：喷雾 1000 L/min·m^2	-	30	90	550	26	290	70
比较例 4	上：圆管层流 1000 L/min·m^2 下：喷雾 1000 L/min·m^2	上：圆管层流 1000 L/min·m^2,流速 4m/s 下：喷雾 1000 L/min·m^2	-	80	30	400	80	295	95
比较例 5	上：圆管层流 1000 L/min·m^2 下：喷雾 1000 L/min·m^2	上：喷雾 200 L/min·m^2 下：喷雾 200 L/min·m^2	-	30	30	550	22	309	70
比较例 6	上：圆管层流 1000 L/min·m^2 下：喷雾 1000 L/min·m^2	上：圆管射流 1500 L/min·m^2,流速 4m/s 下：喷雾 1800 L/min·m^2	图 5	30	30	550	23	308	65
比较例 7	上：圆管层流 1000 L/min·m^2 下：喷雾 1000L/min.m^3	上：圆管射流 2500 L/min·m^2,流速 4m/s 下：喷雾 2500 L/min·m^2	图 6	30	30	450	60	280	70

*1 上：钢带上表面侧的冷却条件
上：钢带下表面侧的冷却条件

*2 圆管层流：使用圆管喷嘴的层流冷却
喷雾：使用喷雾喷嘴的喷雾冷却
圆管射流：使用圆管喷嘴的射流冷却
狭缝射流：使用狭缝喷嘴的射流冷却

*3 流速：冷却水的喷射速度

*4 长度平均：钢带长度方向的平均温度
长度偏差：钢带长度方向的温度偏差

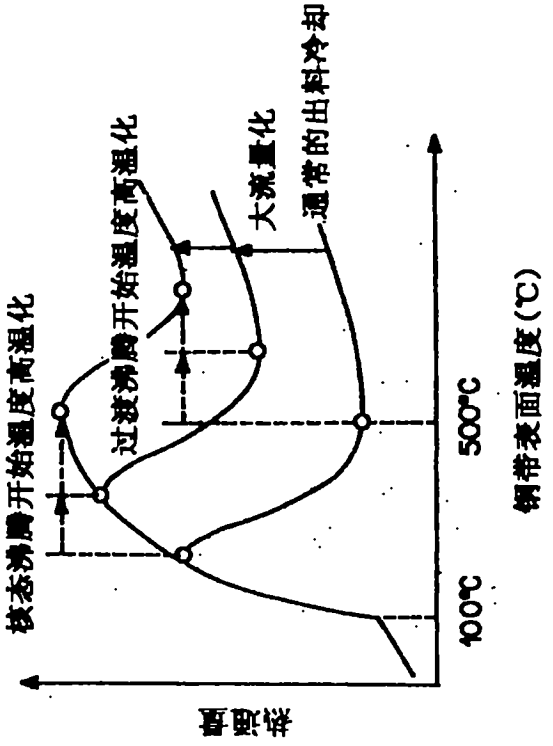

核态沸腾开始温度高温化
过渡沸腾开始温度高温化
大流量化
通常的出料冷却
热通量
100℃
500℃
钢带表面温度(℃)

图1B

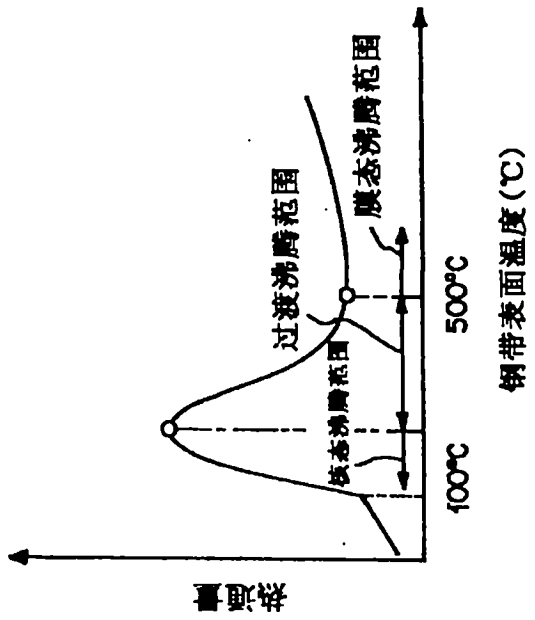

过渡沸腾范围
膜态沸腾范围
核态沸腾范围
热通量
100℃
500℃
钢带表面温度(℃)

图1A

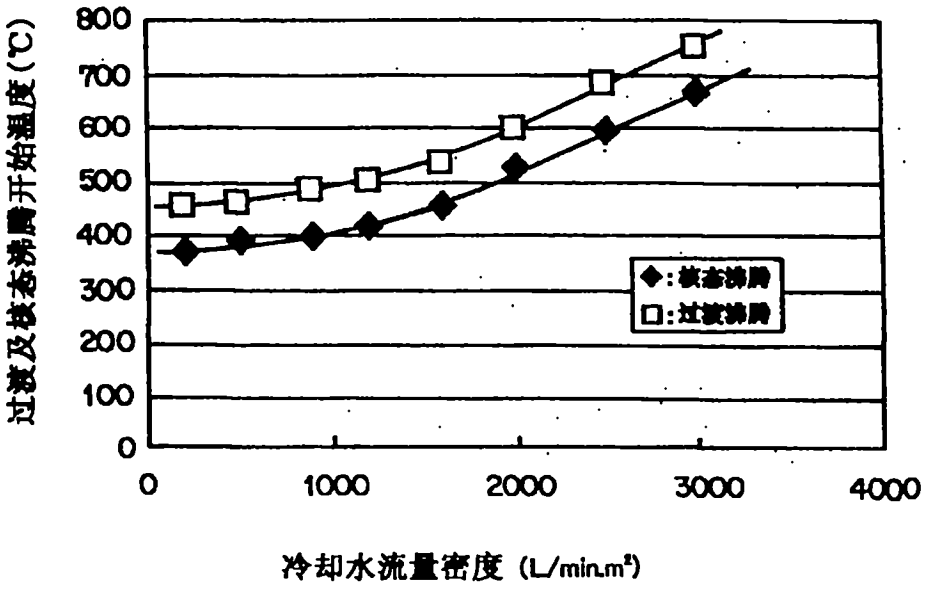

过渡及核态沸腾开始温度(℃)
800
700
600
500
400
300
200
100
0
0
1000
2000
3000
4000
◆:核态沸腾
□:过渡沸腾
冷却水流量密度 (L/min.m²)

图 2

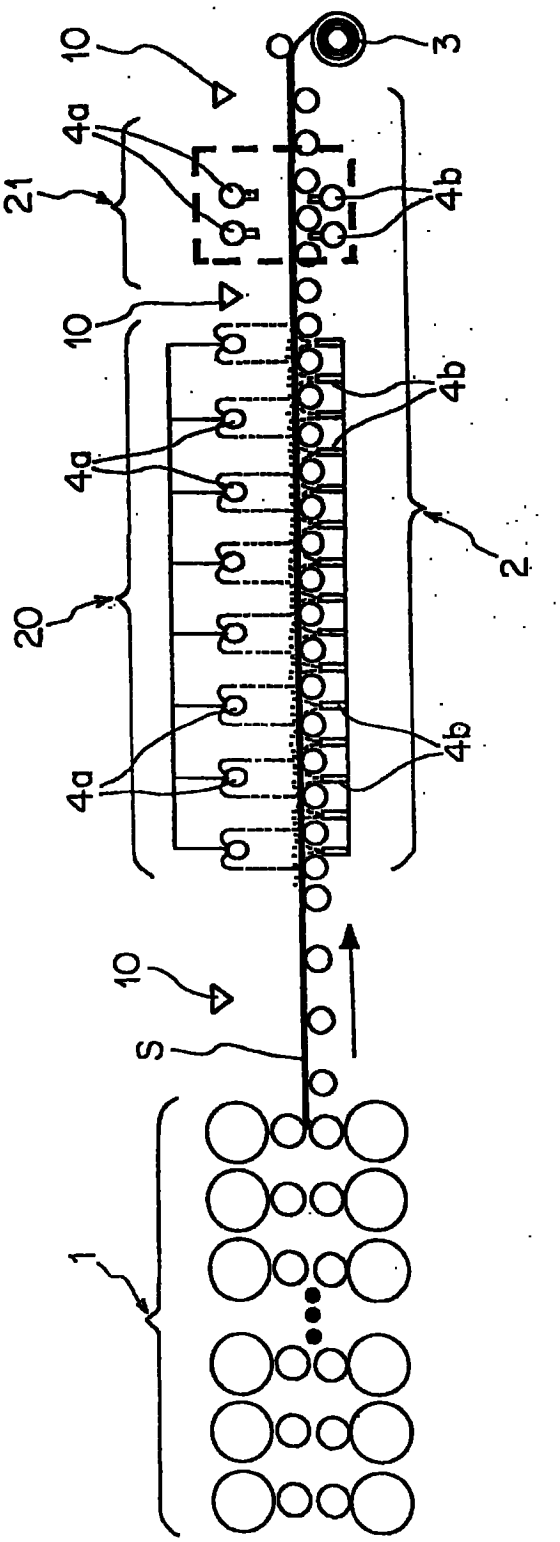


图3

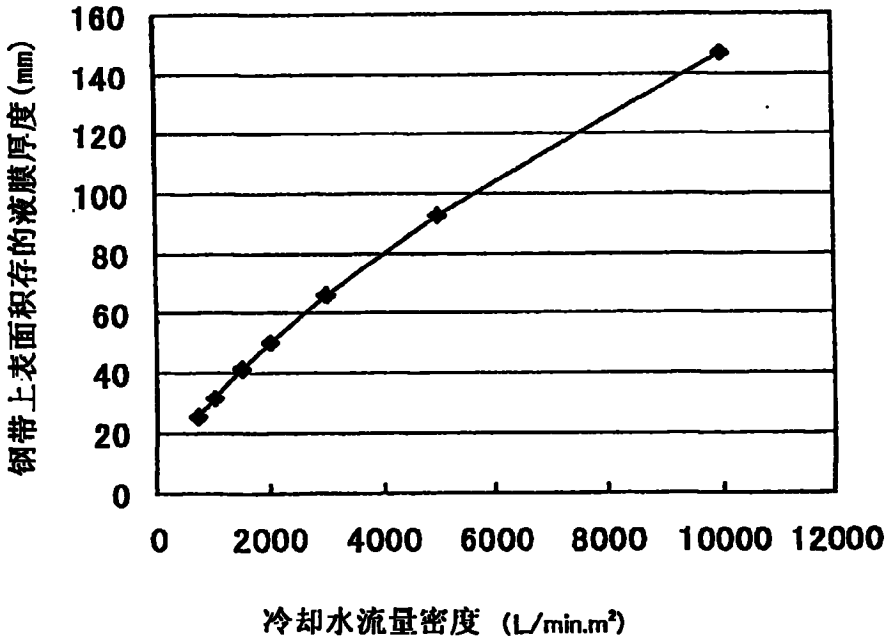

钢带上表面积存的液膜厚度(mm)
160
140
120
100
80
60
40
20
0
0
2000
4000
6000
8000
10000
12000
冷却水流量密度 (L/min.m²)

图 4

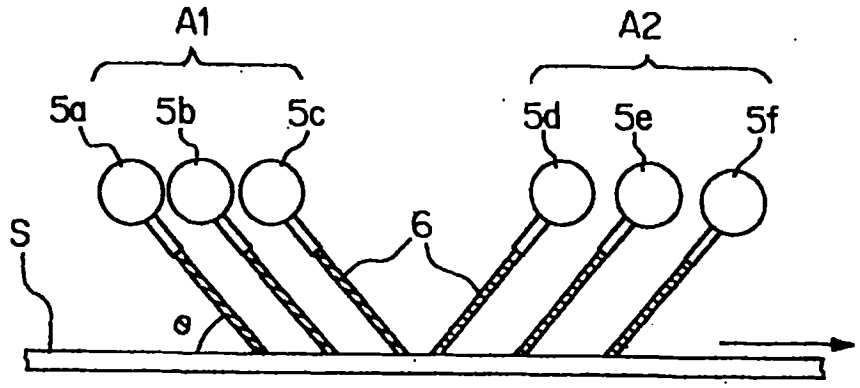

A1
A2
5a
5b
5c
5d
5e
5f
S
6
θ

图 5

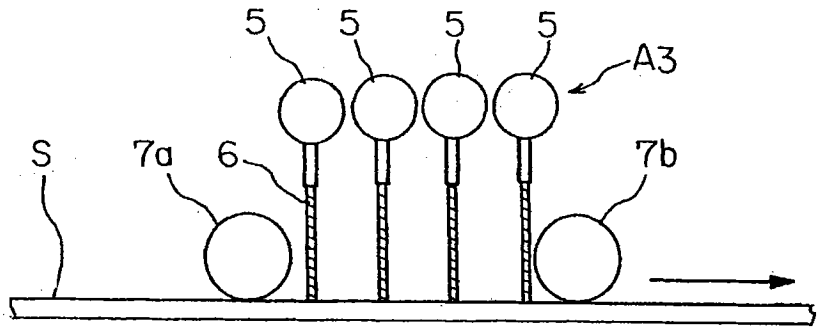


图 6

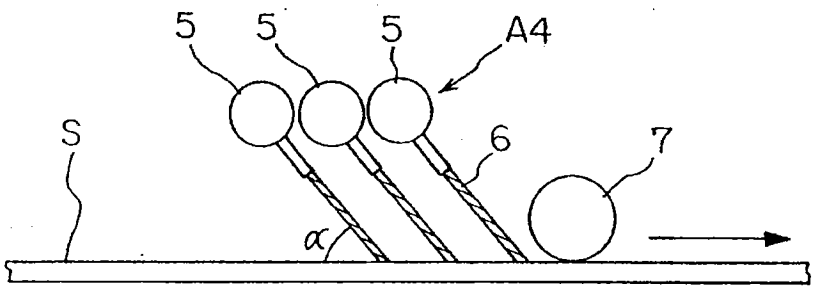


图 7

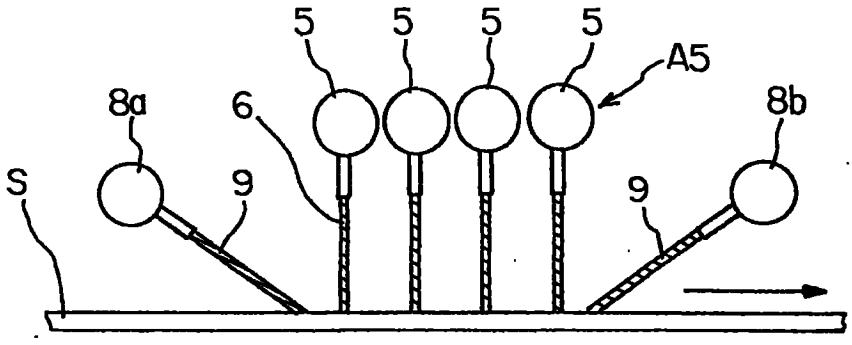


图 8

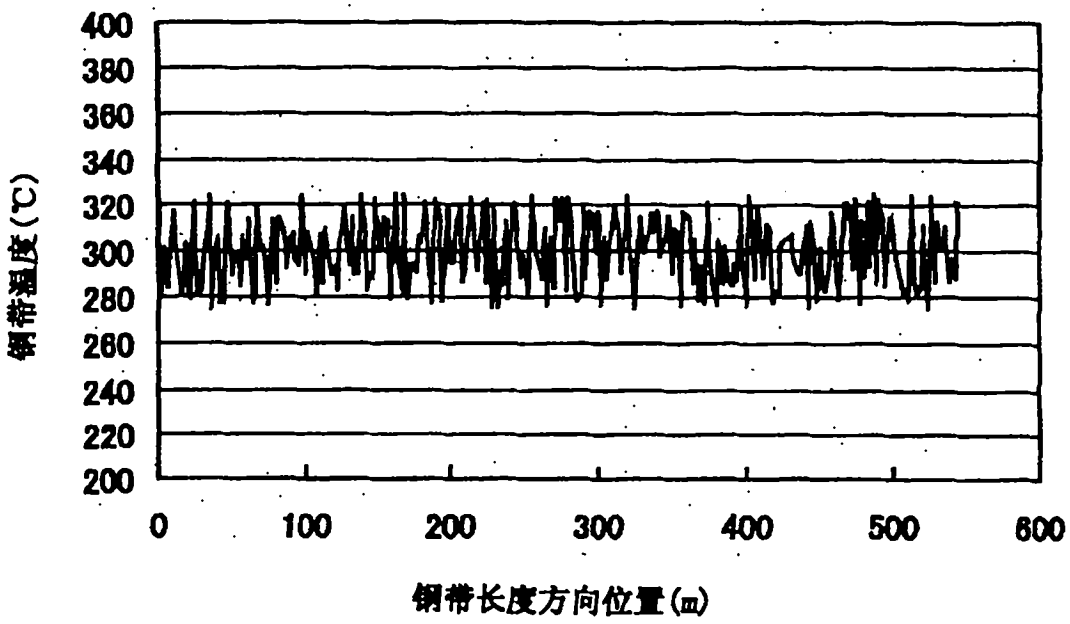

400
380
360
340
320
300
280
260
240
220
200
钢带温度(℃)
0
100
200
300
400
500
600
钢带长度方向位置(m)

图 9

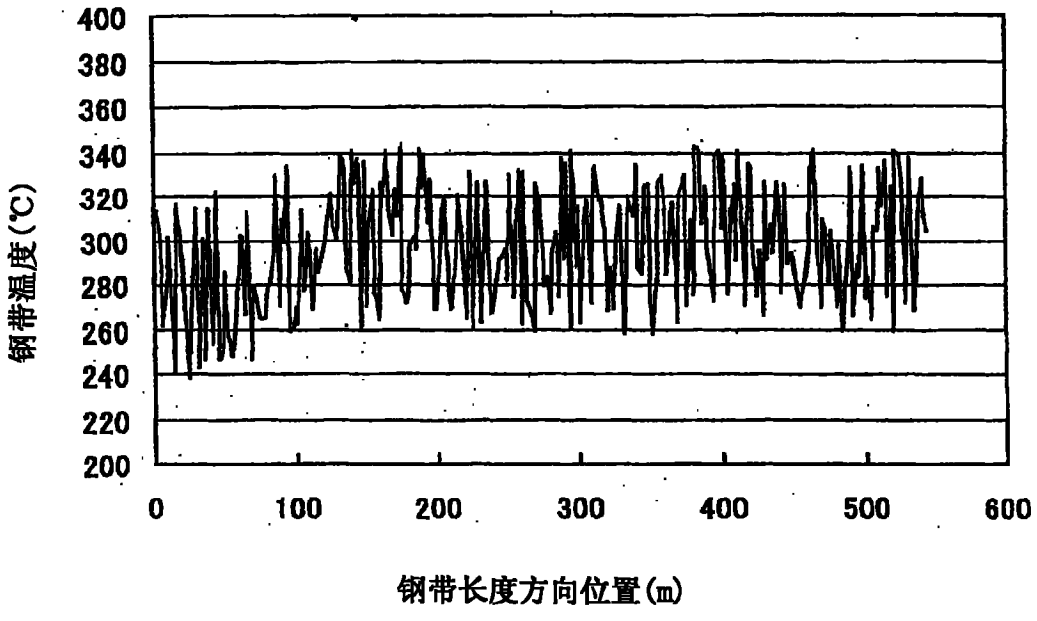

400
380
360
340
320
300
280
260
240
220
200
钢带温度(℃)
0
100
200
300
400
500
600
钢带长度方向位置(m)

图 10