



## (12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 110366456 B

(45) 授权公告日 2021.08.31

(21) 申请号 201880015172.2

(22) 申请日 2018.03.01

(65) 同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 110366456 A

(43) 申请公布日 2019.10.22

(30) 优先权数据  
2017-038973 2017.03.02 JP

(85) PCT国际申请进入国家阶段日  
2019.08.30

(86) PCT国际申请的申请数据  
PCT/JP2018/007743 2018.03.01

(87) PCT国际申请的公布数据  
W02018/159749 JA 2018.09.07

(73) 专利权人 杰富意钢铁株式会社  
地址 日本东京都

(72) 发明人 上冈悟史 田村雄太 原田直树

(74) 专利代理机构 北京市金杜律师事务所  
11256

代理人 杨宏军 李文屿

(51) Int.Cl.  
B21B 45/02 (2006.01)

(56) 对比文件  
CN 101534971 A, 2009.09.16  
JP H0222424 A, 1990.01.25  
EP 1908535 A1, 2008.04.09  
JP H02179829 A, 1990.07.12  
CN 101778679 A, 2010.07.14  
JP S5193769 A, 1976.08.17  
JP H0866713 A, 1996.03.12

审查员 张荣

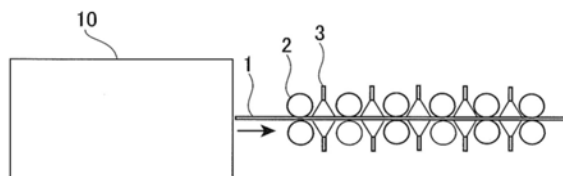
权利要求书1页 说明书9页 附图5页

### (54) 发明名称

钢板的冷却方法及钢板的冷却装置以及钢板的制造方法

### (57) 摘要

本发明的目的在于,提供在一边用辊将热轧后的钢板约束一边进行冷却的控制冷却中变形少的钢板的冷却方法及钢板的冷却装置、以及钢板的制造方法。钢板的冷却方法,其利用沿钢板输送方向以规定间距配置的多个辊在将钢板约束的状态下输送钢板,利用配置在多个辊间的冷却喷嘴向钢板的上下表面喷射冷却水,从而将钢板冷却,所述钢板的冷却方法中,以满足下述式(1)的通板速度V进行冷却。 $V > 2.21 \times 10^{-5} \times C_v \times L^3 \times t^{-2} \times (24.2 + 204.3 \times (L/W)^2)^{-1} \dots (1)$  其中,式(1)中,V:通板速度(m/s), $C_v$ :相对于板厚方向的钢板平均温度而言的冷却速度( $^{\circ}\text{C}/\text{s}$ ),L:辊间距(m),t:板厚(m),W:板宽(m)。



1. 钢板的冷却方法,其利用沿钢板输送方向以规定间距配置的多个辊在将钢板约束的状态下输送钢板,并利用配置在多个辊间的冷却喷嘴向钢板的上下表面喷射冷却水,从而将钢板冷却,所述钢板的冷却方法中,以满足下述式(1)的通板速度V进行冷却,其中,板厚t为10mm以下,板宽W为3000mm以上,冷却后的钢板的陡度λ小于0.5%,

$$V > 2.21 \times 10^{-5} \times C_v \times L^3 \times t^{-2} \times (24.2 + 204.3 \times (L/W)^2)^{-1} \cdots (1)$$

其中,式(1)中,

V:通板速度,单位为m/s;

C<sub>v</sub>:相对于板厚方向的钢板平均温度而言的冷却速度,单位为℃/s;

L:辊间距,单位为m;

t:板厚,单位为m;

W:板宽,单位为m,

$$\lambda = (\delta/P) \times 100 \cdots (2)$$

其中,式(2)中,

λ:陡度,单位为%;

δ:边浪形状的浪高,单位为m;

P:边浪形状的浪间距,单位为m。

2. 钢板的冷却装置,其具备:

多个辊,所述多个辊沿钢板输送方向以规定间距配置,将钢板约束并输送;

冷却喷嘴,所述冷却喷嘴配置在多个辊间,向钢板的上下表面喷射冷却水,对钢板进行冷却;和

控制机构,所述控制机构以满足下述式(1)的方式控制通板速度V,

其中,板厚t为10mm以下,板宽W为3000mm以上,冷却后的钢板的陡度λ小于0.5%,

$$V > 2.21 \times 10^{-5} \times C_v \times L^3 \times t^{-2} \times (24.2 + 204.3 \times (L/W)^2)^{-1} \cdots (1)$$

其中,式(1)中,

V:通板速度,单位为m/s;

C<sub>v</sub>:相对于板厚方向的钢板平均温度而言的冷却速度,单位为℃/s;

L:辊间距,单位为m;

t:板厚,单位为m;

W:板宽,单位为m,

$$\lambda = (\delta/P) \times 100 \cdots (2)$$

其中,式(2)中,

λ:陡度,单位为%;

δ:边浪形状的浪高,单位为m;

P:边浪形状的浪间距,单位为m。

3. 钢板的制造方法,其使用权利要求1所述的冷却方法对热轧后的钢板进行冷却,从而制造钢板。

## 钢板的冷却方法及钢板的冷却装置以及钢板的制造方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及在利用辊将经热轧的高温钢板约束的状态下实施通过冷却的控制冷却。特别涉及针对板厚薄至10mm以下、且板宽为3000mm以上的厚钢板(以下,有时简称为钢板)可制造变形少的钢板的钢板冷却方法及冷却装置、以及钢板的制造方法。

### 背景技术

[0002] 在钢板的制造中,需要确保钢板所要求的机械性质、尤其是强度和韧性。为了达成上述要求,实施将轧制后的高温钢板直接冷却、或暂时空冷至室温然后离线(offline)进行再加热・淬火的操作。该冷却中,为了确保钢板所要求的材质方面的特性,需要增大冷却速度。同时,为了确保材质的均匀性、抑制冷却时发生变形(冷却变形,cooling-distortion),在钢板整个面的范围均匀地进行冷却是重要的。在发生冷却变形的情况下,需要针对冷却后的钢板使用辊矫直机、加压机等矫直机来确保平坦度,因此会产生追加工序,从而成为缩短工期的极大障碍。

[0003] 为了应对上述情况,目前,对于钢板的冷却而言,广泛实施利用多个辊约束钢板、在所述约束辊之间配置冷却喷嘴、一边使钢板通过一边进行冷却(称为通过冷却)的方法,由此制造变形少的钢板。

[0004] 作为使用上述方法进行控制冷却的理由,可举出下述理由:进行通过冷却能以较短的设备长度实现冷却,因此能够抑制初期投资成本。另外,约束辊可抑制由于冷却中的钢板上下表面、钢板面内的温度分布的不均匀而发生的变形,并且通过在辊间配置冷却喷嘴,使得冷却水不会流出至冷却装置外部,从而防止冷却水滞留于钢板上的情况。

[0005] 从以上的观点考虑,例如,专利文献1中记载了如下方法:针对由冷却后的钢板温度分布的不均匀导致的形状不良,基于冷却后钢板的温度分布的测定来预测钢板中产生的残余应力,从而判断是否需要矫直。

[0006] 另外,专利文献2中记载了如下方法:从抑制在水冷中发生的拱形翘曲(camber)的观点考虑,着眼于约束辊,在作为约束辊的辊间距、钢板厚度的函数而言所需的约束辊的约束力的范围内施加负荷,从而制造平坦度良好的钢板。

[0007] 现有技术文献

[0008] 专利文献

[0009] 专利文献1:日本专利第2843273号公报

[0010] 专利文献2:日本专利第3925789号公报

### 发明内容

[0011] 发明所要解决的课题

[0012] 利用如上述中所说明的方法虽可制造变形少的钢板,但即使确保宽度方向、上下表面的温度均匀性并进行冷却,仍然存在发生变形的情况。因此,本申请发明人对变形的发生进行了研究,结果发现,由于水冷时的钢板宽度方向的收缩所导致的屈曲变形(buckling

strain) 而产生冷却变形。明确了对于由屈曲变形导致的冷却变形而言,在板厚薄且板宽度宽的钢板的情况下,不易显示出如上述中所说明的方法带来的降低效果,尤其在板厚为10mm以下且板宽为3000mm以上的钢板的冷却时,即使确保宽度方向、上下表面的温度均匀性而进行冷却,仍然会发生变形。

[0013] 对于水冷时的钢板宽度方向的收缩所导致的屈曲变形而言,其机理与迄今为止设想的由上下表面的温度偏差导致的变形不同,因此,可以认为即使用以往的方法进行冷却,仍然会发生变形。就专利文献1那样的基于钢板冷却后的温度分布进行预测的方法而言,会发生比所预测的板形状更大的变形。因此,预测不准确,难以削减矫直的发生率。另外,专利文献2中,虽然能够抑制由上下表面的温度偏差导致的变形,但没有考虑水冷时伴随的板宽收缩所导致的屈曲变形,因此,对于板厚薄且板宽度宽的区域显示不出效果。

[0014] 因此,本发明以解决上述现有技术的问题点为课题,其目的在于提供在一边用辊约束经过热轧的钢板一边进行冷却的控制冷却中变形少的钢板的冷却方法及钢板的冷却装置、以及钢板的制造方法。

[0015] 用于解决课题的手段

[0016] 本发明的主旨如下。

[0017] [1]钢板的冷却方法,其利用沿钢板输送方向以规定间距配置的多个辊在将钢板约束的状态下输送钢板,并利用配置在多个辊间的冷却喷嘴向钢板的上下表面喷射冷却水,从而将钢板冷却,所述钢板的冷却方法中,

[0018] 以满足下述式(1)的通板速度V进行冷却,

[0019]  $V > 2.21 \times 10^{-5} \times C_v \times L^3 \times t^{-2} \times (24.2 + 204.3 \times (L/W)^2)^{-1} \dots (1)$

[0020] 其中,式(1)中,

[0021] V:通板速度(m/s)

[0022]  $C_v$ :相对于板厚方向的钢板平均温度而言的冷却速度( $^{\circ}\text{C}/\text{s}$ )

[0023] L:辊间距(m)

[0024] t:板厚(m)

[0025] W:板宽(m)。

[0026] [2]如[1]所述的钢板的冷却方法,其中,板厚t为10mm以下。

[0027] [3]如[1]或[2]所述的钢板的冷却方法,其中,板宽W为3000mm以上。

[0028] [4]钢板的冷却装置,其具备:

[0029] 多个辊,所述多个辊沿钢板输送方向以规定间距配置,将钢板约束并输送;

[0030] 冷却喷嘴,所述冷却喷嘴配置在多个辊间,向钢板的上下表面喷射冷却水,对钢板进行冷却;和

[0031] 控制机构,所述控制机构以满足下述式(1)的方式控制通板速度V,

[0032]  $V > 2.21 \times 10^{-5} \times C_v \times L^3 \times t^{-2} \times (24.2 + 204.3 \times (L/W)^2)^{-1} \dots (1)$

[0033] 其中,式(1)中,

[0034] V:通板速度(m/s)

[0035]  $C_v$ :相对于板厚方向的钢板平均温度而言的冷却速度( $^{\circ}\text{C}/\text{s}$ )

[0036] L:辊间距(m)

[0037] t:板厚(m)

[0038] W:板宽(m)。

[0039] [5]如[4]所述的钢板的冷却装置,其中,板厚 $t$ 为10mm以下。

[0040] [6]如[4]或[5]所述的钢板的冷却装置,其中,板宽 $W$ 为3000mm以上。

[0041] [7]钢板的制造方法,其使用[1]~[3]中任一项所述的冷却方法对热轧后的钢板进行冷却,并制造钢板。

[0042] 发明效果

[0043] 根据本发明,可以制造变形少的钢板。特别地,能够通过应用于厚钢板的离线热处理而发挥其效果。

## 附图说明

[0044] [图1]图1为表示使用了本发明的钢板冷却装置的制造设备的一部分构成的示意图。

[0045] [图2]图2为说明钢板冷却时的屈曲变形的图,(a)为表示本发明的冷却装置的构成的示意图,(b)为说明钢板冷却时钢板的板宽 $W$ 的变化的图。

[0046] [图3]图3为表示钢板的形状不良(边浪)的一例的图。

[0047] [图4]图4为说明陡度 $\lambda$ 的定义的图。

[0048] [图5]图5为表示辊间距 $L$ 与陡度 $\lambda$ 的关系的图。

[0049] [图6]图6为表示冷却速度 $C_v$ 与陡度 $\lambda$ 的关系的图。

[0050] [图7]图7为表示通板速度 $V$ 与陡度 $\lambda$ 的关系的图。

[0051] [图8]图8为说明切取一部分钢板(辊间距 $L$ 间的钢板)时的屈曲变形的图。

[0052] [图9]图9为表示辊间距 $L$ 和板宽 $W$ 的平方、与屈曲系数 $k$ 之间的关系图。

## 具体实施方式

[0053] 首先,对被认为是冷却变形的原因的、水冷时的钢板宽度方向的收缩所导致的屈曲变形进行说明。图1为表示使用了本发明的钢板冷却装置的制造设备的一部分构成的示意图。将在轧制机生产线中制造的规定板厚的钢板1输送至图1的制造生产线。利用加热炉10将钢板1加热至规定的温度后,一边利用多个辊2约束钢板1一边输送钢板1,利用设置在各辊2间的多个冷却喷嘴3进行冷却。需要说明的是,图中的箭头为钢板的输送方向。另外,辊2及冷却喷嘴3设置于钢板1的上下表面。本发明涉及的冷却装置具备辊2、冷却喷嘴3、及以满足后述式(1)的方式控制通板速度 $V$ 的控制机构(未图示)。

[0054] 图2(a)为表示本发明的钢板的冷却装置的构成的示意图。如图2(a)所示,钢板1沿着输送方向被辊2-0、辊2-1、...辊2- $i$ 、辊2- $n$ 等多个辊2约束上下表面。在各辊2间,冷却喷嘴3分别设置于钢板1的上下表面。

[0055] 图2(b)为说明钢板冷却时的钢板的板宽 $W$ 的变化的图,是从上方观察通过图2(a)所示的钢板的冷却装置内时的、钢板1的板宽 $W$ 的变化的图。将通过各辊2时的钢板1的板宽设为 $W$ 、钢板输送方向上的辊间距设为 $L$ 时,钢板1由于水冷而收缩。例如,钢板从辊2-0向辊2-1移动的情况下,如图2(b)所示,板宽仅收缩 $\Delta W$ ( $\Delta = W_0 - W_1$ ,需要说明的是, $W_0$ :通过辊2-0时的板宽, $W_1$ :通过辊2-1时的板宽。)。这时,成为等同于使板宽度宽的钢板和板宽度窄的钢板以成为相同宽度的方式接合的状态,因此,板宽度宽的部分(例如板宽 $W_0$ )受到大的压缩

应力。在本发明中,将该压缩应力所导致的钢板的变形称为屈曲变形。

[0056] 这时,在通板速度慢或冷却速度快的情况下,相对于其输送方向而言的收缩梯度 $\Delta W/L$ 变得陡峭,因此产生大的压缩应力,变得容易发生屈曲变形。另外,板厚薄且板宽度宽的情况下,板的刚性降低,因此针对压缩应力的耐性降低,同样变得容易发生屈曲变形。

[0057] 因此,为了确认上述的板宽 $W$ 的收缩机理,在实际的制造生产线中,对在通板速度 $V$ 、板厚 $t$ 、板宽 $W$ 、冷却速度 $C_v$ 等各种条件下冷却的钢板的形状与各冷却条件的关系进行了调查。具体而言,将在轧制机生产线中制造的板厚 $6\text{mm}\sim 10\text{mm}$ 的钢板1输送至图1的制造生产线,利用加热炉(炉底辊加热炉)10加热至 $950^{\circ}\text{C}$ 后,一边利用辊2约束、一边利用冷却喷嘴3进行冷却至 $100^{\circ}\text{C}$ 。对是否自冷却后的钢板形状发生屈曲变形进行了判断。

[0058] 图3为表示发生了形状不良的钢板的形状的一例的图,在钢板1的边缘部发生了被称为所谓边浪的形状不良。使用图4及由下述式(2)所示的定义表示的陡度(steeptness) $\lambda$ (%)将该边浪形状的不良定量化。需要说明的是,边浪不仅仅发生于一处,而是于钢板的两端部发生多处。因此,下述式(2)中的 $\delta/P$ 的值为发生于钢板两端部的全部边浪的平均值。

[0059]  $\lambda = (\delta/P) \times 100 \cdots (2)$

[0060] 其中,式(2)中,

[0061]  $\lambda$ :陡度(%)

[0062]  $\delta$ :浪高(m)

[0063]  $P$ :浪间距(m)。

[0064] 量化的结果是,发生了形状不良的钢板的浪间距 $P$ 为 $0.6\sim 1.4\text{m}$ 左右。关于陡度的可接受值,若在例如焊接多个板时存在较大的形状不良,则会需要在约束钢板所具有的变形而使其变得平坦的状态下进行焊接的操作等,因此,优选陡度尽可能地小。作为常规基准,在钢板输送方向上的浪间距 $P$ 为 $2\text{m}$ 时,要求使浪高 $\delta$ 为 $10\text{mm}$ 以下。因此,本发明中,认为陡度 $\lambda$ 小于 $(10/2000) \times 100 = 0.5\%$ 为没有屈曲变形,将 $\lambda$ 为 $0.5\%$ 以上判断为存在屈曲变形。

[0065] 图5为表示设定板厚 $t=10\text{mm}$ 、板宽 $W=3000\text{mm}$ 、通板速度 $V=0.58\text{m/s}$ 、冷却速度 $C_v=220^{\circ}\text{C/s}$ 时的辊间距 $L$ 与边浪形状的陡度 $\lambda$ 的关系的图。确认到辊间距 $L$ 变得越短,则陡度 $\lambda$ 变得越小。辊间距 $L$ 为 $600\text{mm}$ 以下的情况下,未产生边浪。

[0066] 图6为表示设定板厚 $t=10\text{mm}$ 、板宽 $W=3000\text{mm}$ 、通板速度 $V=0.58\text{m/s}$ 、辊间距 $L=750\text{mm}$ 时的冷却速度 $C_v$ 与边浪形状的陡度 $\lambda$ 的关系的图。确认到冷却速度 $C_v$ 变得越小,则陡度 $\lambda$ 变得越小。冷却速度 $C_v$ 为 $110^{\circ}\text{C/s}$ 以下的情况下,未产生边浪。

[0067] 图7为表示针对设定板厚 $t=6\text{mm}$ 、辊间距 $L=750\text{mm}$ 、冷却速度 $C_v=300^{\circ}\text{C/s}$ ,针对板宽 $W$ 为 $1500\text{mm}$ 和板宽 $W$ 为 $3000\text{mm}$ 的情况下的钢板的通板速度 $V$ 与陡度 $\lambda$ 的关系的图。任一板宽均确认到通板速度 $V$ 越快,则陡度 $\lambda$ 变得越小。另外,板宽 $W$ 为 $1500\text{mm}$ 时,通板速度 $V$ 为 $1.8\text{m/s}$ 以上的情况下未产生边浪。另一方面,板宽 $W$ 为 $3000\text{mm}$ 时,通板速度 $V$ 为 $3.0\text{m/s}$ 以上的情况下未产生边浪。由上述结果可知,通板速度相同的情况下,板宽越大则形状变得越差。

[0068] 需要说明的是,对于厚钢板而言,板厚越厚,则冷却时越在钢板表面与钢板中心处产生温度差。因此,此处的冷却速度 $C_v$ 为相对于板厚方向的平均温度而言的冷却速度。

[0069] 由上述见解可知,屈曲变形可以说是由于通板速度 $V$ 、冷却速度 $C_v$ 、辊间距 $L$ 、板厚 $t$ 、板宽 $W$ 而发生的。因此,本申请发明人进行了进一步的研究,结果发现,只要满足由下述式(1)表示的通板速度 $V$ ,则不会发生屈曲变形,能够得到变形少的钢板。

[0070]  $V > 2.21 \times 10^{-5} \times C_v \times L^3 \times t^{-2} \times (24.2 + 204.3 \times (L/W)^2)^{-1} \dots (1)$

[0071] 其中,式(1)中,

[0072] V:通板速度(m/s)

[0073]  $C_v$ :相对于板厚方向的钢板平均温度而言的冷却速度( $^{\circ}\text{C}/\text{s}$ )

[0074] L:辊间距(m)

[0075] t:板厚(m)

[0076] W:板宽(m)。

[0077] 以下,对上述式(1)的导出进行说明。

[0078] 根据弹性学手册(日文:弹性学ハンドブック)(中原等,2001年,朝仓书店,P.264),屈曲临界的压缩应力记载如下。

[0079] [数学式1]

[0080] 
$$\sigma_e = \frac{kE\pi^2}{12(1-\nu^2)} \left( \frac{t}{L} \right)^2 \dots (3)$$

[0081] [数学式2]

[0082] 
$$k = \left( \frac{mL}{W} \right)^2 + 2 + \left( \frac{W}{mL} \right)^2 \dots (4)$$

[0083] 上述式中,

[0084]  $\sigma_e$ :屈曲临界应力(MPa)

[0085] k:屈曲系数

[0086] E:杨氏模量(MPa)

[0087]  $\pi$ :圆周率

[0088]  $\nu$ :泊松比

[0089] t:板厚(m)

[0090] L:辊间距(m)

[0091] W:板宽(m)

[0092] m:浪数(通常取1)。

[0093] 需要说明的是,L在弹性学手册中记载为板长度,但由于本次为用辊进行约束的体系,因此,从应力的方向判断,将L替换为辊间距。另外,关于屈曲系数k,式(4)为初等分析的一例。实际上由于钢板的约束状态等的变化,因此不会成为如该式(4)这样的屈曲系数。因此,多是参考式(4)以符合实际情况的方式适宜修改屈曲系数k而利用。

[0094] 如图8那样,考虑切取一部分的辊间的钢板(辊间距L间的钢板)时,基于辊间入口侧温度及辊间出口侧温度,沿钢板的宽度方向施加的压缩应力可记载如下。

[0095] [数学式3]

[0096] 
$$\sigma_a = \alpha E (T_{in} - T_{out}) \dots (5)$$

[0097] 上述式中,

[0098]  $\sigma_a$ :宽度方向的压缩应力(MPa)

[0099]  $\alpha$ :线膨胀系数( $1/^{\circ}\text{C}$ )

[0100] E:杨氏模量(MPa)

[0101]  $T_{in}$ :辊间入口侧温度( $^{\circ}\text{C}$ )

[0102]  $T_{out}$ : 辊间出口侧温度(℃)。

[0103] 在辊间以恒定的冷却速度进行了冷却时, 上述的式(5)的辊间入口侧温度 $T_{in}$ 及辊间出口侧温度 $T_{out}$ 可记载如下。

[0104] [数学式4]

$$[0105] \quad (T_m - T_{out}) = \frac{C_v \cdot L}{V} \quad \dots (6)$$

[0106] 上述式中,

[0107]  $C_v$ : 冷却速度(℃/s)

[0108]  $V$ : 通板速度(m/s)。

[0109] 即, 宽度方向的压缩应力 $\sigma_a$ 可记载如下。

[0110] [数学式5]

$$[0111] \quad \sigma_a = \alpha E \frac{C_v \cdot L}{V} \quad \dots (7)$$

[0112] 由于宽度方向的压缩应力 $\sigma_a$ 小于屈曲临界应力 $\sigma_e$ 的情况下不发生屈曲, 因此, 只要满足式(8)的关系式则不会发生屈曲变形。

[0113] [数学式6]

$$[0114] \quad \sigma_e = \frac{kE\pi^2}{12(1-\nu^2)} \left( \frac{t}{L} \right)^2 > \sigma_a = \alpha E \frac{C_v \cdot L}{V} \quad \dots (8)$$

[0115] 针对通板速度 $V$ 重写式(8), 则如以下所示。

[0116] [数学式7]

$$[0117] \quad V > \frac{12(1-\nu^2)\alpha \cdot C_v \cdot L^3}{\pi^2 \cdot kt^2} \quad \dots (9)$$

[0118] 需要说明的是, 钢的情况下, 泊松比 $\nu$ 及热膨胀系数 $\alpha$ 具有固有值, 因此, 将其作为常数考虑时, 不发生屈曲变形的通板速度 $V$ 可记载如下。(设想为高温范围的操作, 泊松比 $\nu$ 及热膨胀系数 $\alpha$ 分别以 $\nu=0.3$ 、 $\alpha=2.0 \times 10^{-5}$ 换算)

[0119] [数学式8]

$$[0120] \quad V > 2.21 \times 10^{-5} \times \frac{C_v \cdot L^3}{kt^2} \quad \dots (10)$$

[0121] 屈曲系数 $k$ 为由上述式(10)导出的下述式(11)。

[0122] [数学式9]

$$[0123] \quad k = 2.21 \times 10^{-5} \times \frac{C_v \cdot L^3}{Vt^2} \quad \dots (11)$$

[0124] 此处, 屈曲系数 $k$ 为工艺特征值, 因此, 使用实机进行各种实验, 实际地求出屈曲系数 $k$ 。实际上, 为了求出屈曲系数 $k$ , 作为实验条件, 设定板厚 $t$ 为5~15mm、板宽 $W$ 为3000~5000mm、辊间距 $L$ 为500~750mm、通板速度为0.3~2.0m/s。

[0125] 另一方面, 基于上述式(4)可认为, 实际上屈曲的边界的屈曲常数 $k$ 与、辊间距 $L$ 和板宽 $W$ 的平方有关。如前文所述, 存在屈曲系数 $k$ 由于各端部的约束、变形条件等而偏离式(4)的理论式的情况, 也存在例如在有剪切力的情况下省略 $(W/L)$ 项的例子。因此, 本次对在省略 $(W/L)$ 项的情况下使用实机实际求出的屈曲系数 $k$ 、与辊间距 $L$ 和板宽 $W$ 的平方的关系进



行绘图。其结果示于图9。图9中，○表示陡度 $\lambda$ 小于0.5%，×表示陡度 $\lambda$ 为0.5%以上。根据图9，可以说在实际上发生屈曲的边界的屈曲常数 $k$ 与陡度 $\lambda$ 之间存在相关关系。

[0126] 根据图9的结果，屈曲系数 $k$ 可用以下的关系表示。

[0127]  $k=204.3(L/W)^2+24.2\cdots(12)$

[0128] 通过将式(10)及式(12)组合，不发生屈曲的通板速度 $V$ 可用下述式(1)表示。

[0129]  $V>2.21\times 10^{-5}\times C_v\times L^3\times t^{-2}\times (24.2+204.3\times (L/W)^2)^{-1}\cdots(1)$

[0130] 其中，式(1)中，

[0131]  $V$ :通板速度(m/s)

[0132]  $C_v$ :相对于板厚方向的钢板平均温度而言的冷却速度( $^{\circ}\text{C}/\text{s}$ )

[0133]  $L$ :辊间距(m)

[0134]  $t$ :板厚(m)

[0135]  $W$ :板宽(m)。

[0136] 需要说明的是，辊间距 $L$ 是来自机械构成的参数，因此，是在机械设置后无法变更的参数。另外，板厚 $t$ 、板宽 $W$ 、冷却速度 $C_v$ 是与决定商品特性有关的参数，这些参数也无法简单地变更。因此，着眼于能够在操作上适宜变更的参数即通板速度 $V$ 对式(1)进行整理。

[0137] 由上述式(1)可知，对于屈曲变形而言，板厚 $t$ 越薄、辊间距 $L$ 越宽、冷却速度 $C_v$ 越快，则在板宽度宽的情况下，越需要为了不使其屈曲变形而以快的通板速度 $V$ 进行冷却。此处，辊间距 $L$ 、冷却速度 $C_v$ 、通板速度 $V$ 是冷却设备固有的值，板厚 $t$ 、板宽 $W$ 则取决于制品。另一方面，冷却速度 $C_v$ 为冷却装置的冷却水的流量，通板速度 $V$ 为辊道的转速，可分别进行变更。因此，在设计阶段预先根据制造品种类的范围而尽可能短地设计冷却装置的辊间距(例如500mm间距)，设计辊道的转速从而尽可能快地旋转(例如达到2m/s以上)、冷却水的流量的调节范围也可设计为宽泛的形式。另外，在使用现有的设备等无法缩短辊间距 $L$ 的情况下，通过拓宽冷却水的流量的调节范围、能够以小流量进行冷却从而减慢冷却速度 $C_v$ ，这是有效的(例如，板厚10mm、100 $^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 以下)。制造热轧钢带的热带钢轧机(hot strip mill)、厚钢板的线上(on line)控制冷却中，板厚为10mm的厚度时，通板速度成为约2.5m/s左右，速度较快，因此，不易发生这样的屈曲变形。另一方面，厚钢板的离线热处理时的冷却中，由于与加热炉的抽出速度联动进行水冷，因此通板速度成为1.0m/s左右，因此，容易发生如本发明中所说明的屈曲变形。

[0138] 综上所述，本发明中，通过以满足上述式(1)的通板速度 $V$ 使钢板冷却，从而能够制造冷却变形少的钢板。本发明中，对于板厚薄且板宽度宽的钢板可发挥效果。尤其适于板厚为10mm以下及/或板宽为3000mm以上的厚钢板的冷却，可应用于厚钢板的离线热处理。

[0139] 实施例1

[0140] 使用图1所示的制造设备，使钢板冷却。此处，加热炉10中的加热温度设为930 $^{\circ}\text{C}$ ，板厚设为容易发生屈曲变形的板厚5mm、10mm、12mm。冷却喷嘴3使用沿宽度方向排列多个扁平喷嘴(flat spray)而成的喷嘴。冷却水量可以变更，喷射最大水量的情况下的板厚5mm的厚钢板的冷却速度为400 $^{\circ}\text{C}/\text{s}$ ，喷射最小流量时的冷却速度为100 $^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 。需要说明的是，将冷却水量设为恒定，仅变更板厚进行冷却的情况下，冷却速度与板厚成反比例。由此，板厚为10mm的情况下的最大冷却速度为200 $^{\circ}\text{C}/\text{s}$ ，最小冷却速度为50 $^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 。另外，辊间距 $L$ 针对各条件而变更。

[0141] 钢板形状以陡度 $\lambda$ 进行判断。将陡度 $\lambda$ 小于0.5%判断为钢板形状是平坦的,另一方面,将陡度 $\lambda$ 为0.5%以上判断为钢板形状屈曲变形。需要说明的是,在求陡度 $\lambda$ 时, $\delta/P$ 是由在钢板两端部产生的全部边浪的平均值算出的。

[0142] 结果示于表1。

[0143] [表1]

[0144]

| 项目      | 板厚 t<br>mm | 板宽 W<br>mm | 通板速度 V<br>m/s | 冷却速度<br>Cv<br>°C/s | 辊间距<br>L<br>mm | 屈曲临界通<br>板速度<br>式(1)<br>m/s | 钢板形状 |
|---------|------------|------------|---------------|--------------------|----------------|-----------------------------|------|
| 比较例 1   | 12         | 3000       | 0.2           | 167                | 750            | 0.29                        | 屈曲变形 |
| 比较例 2   | 12         | 3000       | 0.2           | 125                | 750            | 0.22                        | 屈曲变形 |
| 比较例 3   | 12         | 3000       | 0.2           | 167                | 650            | 0.21                        | 屈曲变形 |
| 比较例 4   | 12         | 5000       | 0.2           | 167                | 750            | 0.38                        | 屈曲变形 |
| 本发明例 1  | 12         | 1500       | 0.3           | 167                | 750            | 0.14                        | 平坦   |
| 本发明例 2  | 12         | 3000       | 0.3           | 167                | 750            | 0.29                        | 平坦   |
| 本发明例 3  | 12         | 3000       | 0.3           | 167                | 550            | 0.14                        | 平坦   |
| 本发明例 4  | 12         | 3000       | 0.3           | 83                 | 750            | 0.15                        | 平坦   |
| 本发明例 5  | 12         | 5000       | 0.4           | 167                | 750            | 0.38                        | 平坦   |
| 比较例 5   | 10         | 3000       | 0.3           | 200                | 750            | 0.51                        | 屈曲变形 |
| 比较例 6   | 10         | 3000       | 0.3           | 150                | 750            | 0.38                        | 屈曲变形 |
| 比较例 7   | 10         | 3000       | 0.3           | 200                | 650            | 0.36                        | 屈曲变形 |
| 比较例 8   | 10         | 5000       | 0.3           | 200                | 750            | 0.65                        | 屈曲变形 |
| 本发明例 6  | 10         | 1500       | 0.4           | 200                | 750            | 0.25                        | 平坦   |
| 本发明例 7  | 10         | 3000       | 1.0           | 200                | 750            | 0.51                        | 平坦   |
| 本发明例 8  | 10         | 3000       | 0.3           | 200                | 550            | 0.24                        | 平坦   |
| 本发明例 9  | 10         | 3000       | 0.3           | 100                | 750            | 0.25                        | 平坦   |
| 本发明例 10 | 10         | 5000       | 0.8           | 200                | 750            | 0.65                        | 平坦   |
| 比较例 9   | 5          | 3000       | 0.3           | 400                | 750            | 4.04                        | 屈曲变形 |
| 比较例 10  | 5          | 3000       | 0.3           | 200                | 750            | 2.02                        | 屈曲变形 |
| 比较例 11  | 5          | 3000       | 0.3           | 400                | 650            | 2.88                        | 屈曲变形 |
| 比较例 12  | 5          | 5000       | 0.3           | 400                | 750            | 5.19                        | 屈曲变形 |
| 本发明例 11 | 5          | 1500       | 0.5           | 100                | 600            | 0.34                        | 平坦   |
| 本发明例 12 | 5          | 3000       | 0.8           | 100                | 600            | 0.59                        | 平坦   |
| 本发明例 13 | 5          | 3000       | 1.5           | 400                | 500            | 1.48                        | 平坦   |
| 本发明例 15 | 5          | 5000       | 2.0           | 400                | 500            | 1.69                        | 平坦   |

[0145] 式(1):  $V > 2.21 \times 10^{-5} \times C_v \times L^3 \times t^{-2} \times (24.2 + 204.3 \times (L/W)^2)^{-1}$

[0146] 本发明例以比式(1)中求出的通板速度V更快的通板速度进行冷却。任一本发明例均未发生屈曲变形,呈平坦的形状。另一方面,比较例均以比式(1)中求出的通板速度V更慢的通板速度进行冷却。任一比较例均在全部条件下发生了屈曲变形。结果,比较例的全部钢板在冷却后使用辊矫直机进行形状矫直而出货。本发明例的全部钢板可不经再次矫直而直接出货。

[0147] 需要说明的是,通常的厚钢板的离线热处理装置的输送速度控制受加热炉的驱动机构影响,对于输送速度而言,能够进行约0.02~0.5m/s左右的速度控制的情况较多。由实施例的结果也可知,尤其在板厚12mm的实验条件下,即使冷却速度快,由于本发明的式(1)中求出的通板速度、即输送速度落入实机的输送速度控制范围内,因此,也容易调节形状。此外,对于板宽度窄的钢板而言,同样地,由于本发明的式(1)中求出的通板速度、即输送速

度落入实机的输送速度控制范围内,因此,也容易调节形状。另一方面,特别地,对于本发明的冷却速度控制、辊间距的变更等而言,在板厚为10mm以下、及/或板宽为3000mm以上的钢板中,存在本发明的式(1)中求出的通板速度、即输送速度成为实机的输送速度控制范围外的情况。因此可知,针对板厚为10mm以下、及/或板宽为3000mm以上的钢板实施本发明时,冷却速度控制、辊间距的变更等是必需的。另外可知,特别地,板厚薄至5mm且板宽为5000mm的条件下,通过不仅使辊间距窄至500mm、还将通板速度控制为比通常的设备略快的2.0m/s,从而能够防止屈曲变形。

[0148] 附图标记说明

[0149] 1 钢板

[0150] 2 辊

[0151] 2-0 辊

[0152] 2-1 辊

[0153] 2-i 辊

[0154] 2-n 辊

[0155] 3 冷却喷嘴

[0156] 10 加热炉(炉底辊加热炉)

[0157]  $\delta$  浪高

[0158] P 浪间距

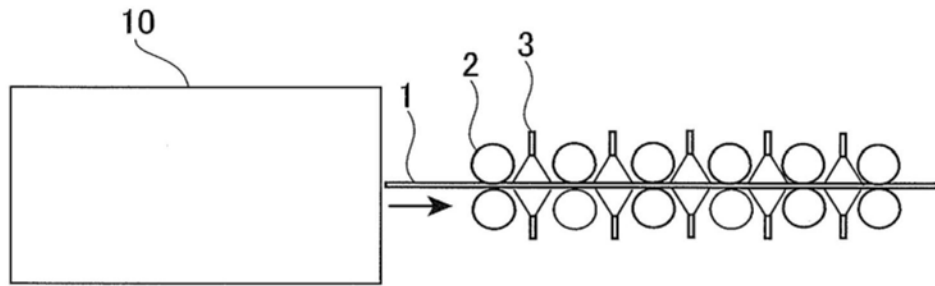
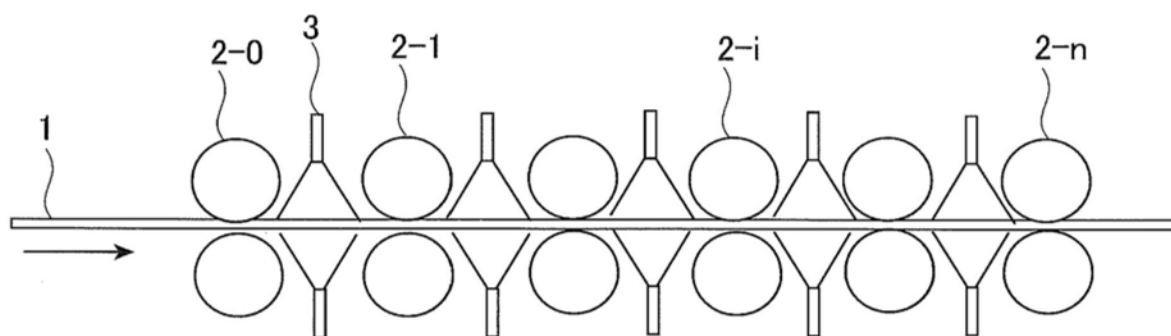


图1

(a)



(b)

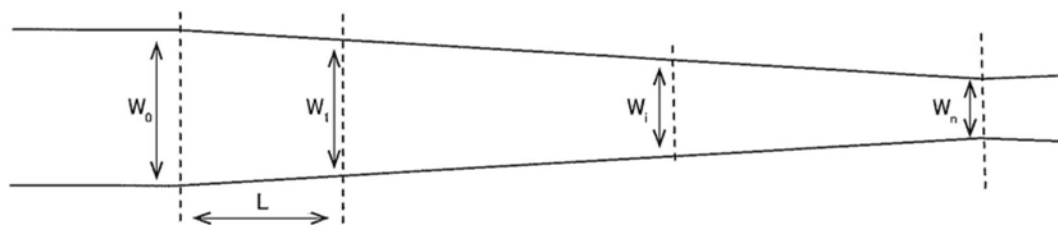


图2

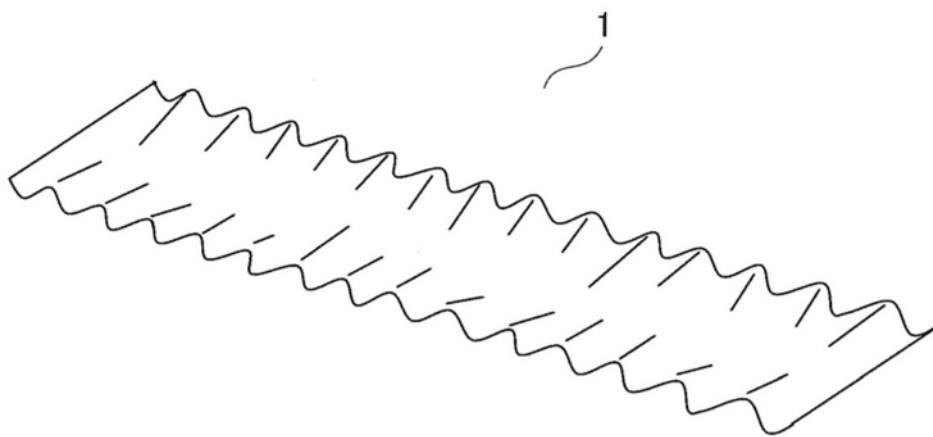


图3

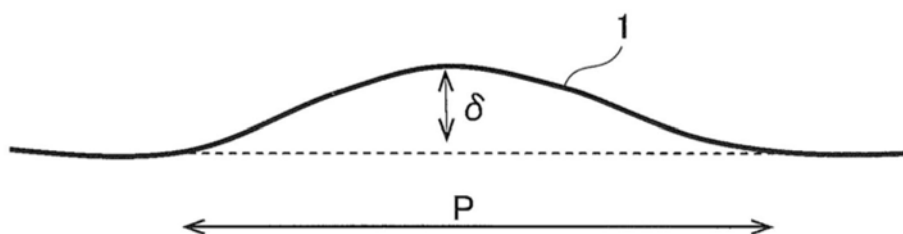


图4

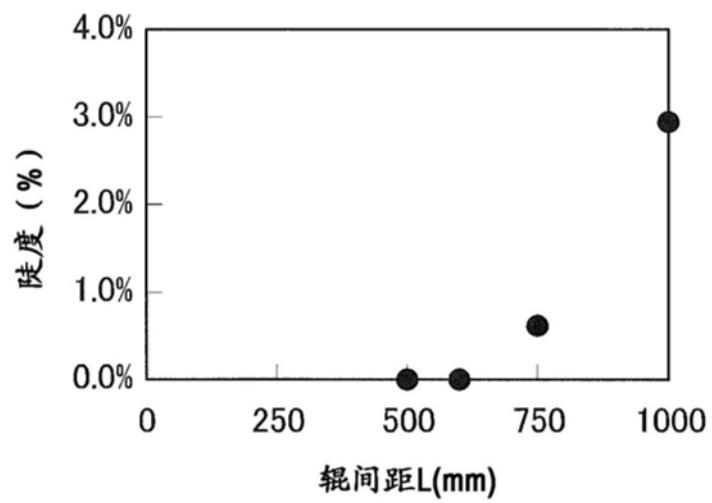


图5

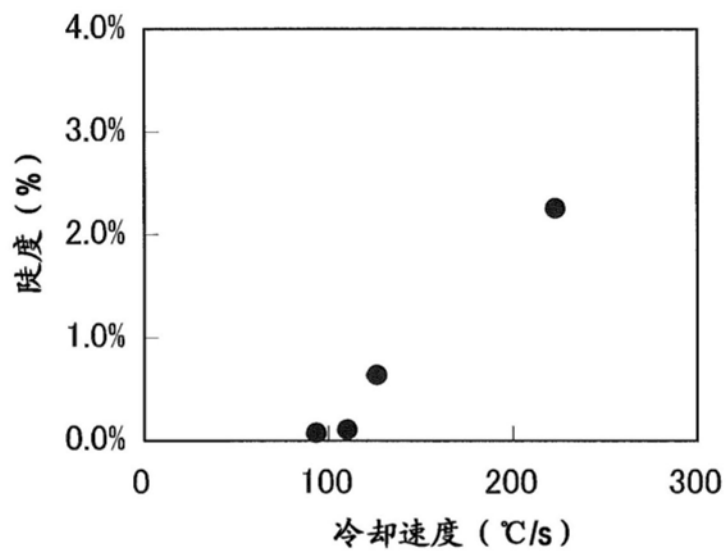


图6

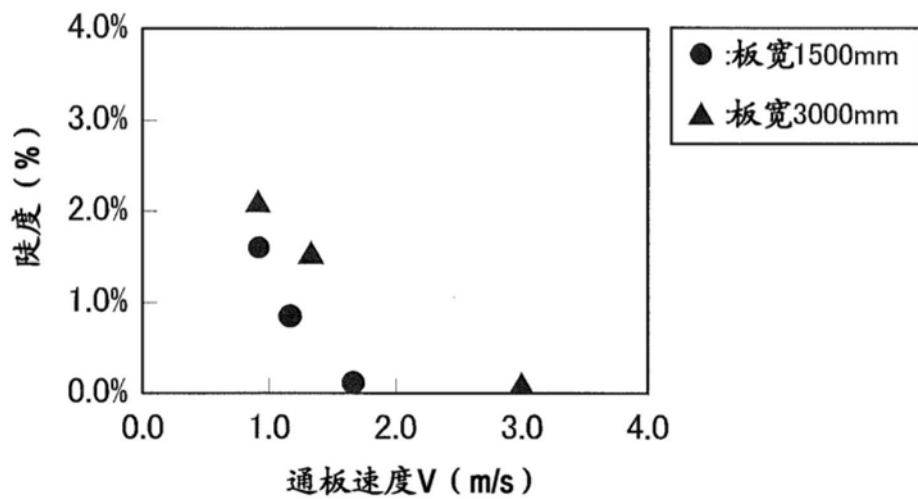


图7

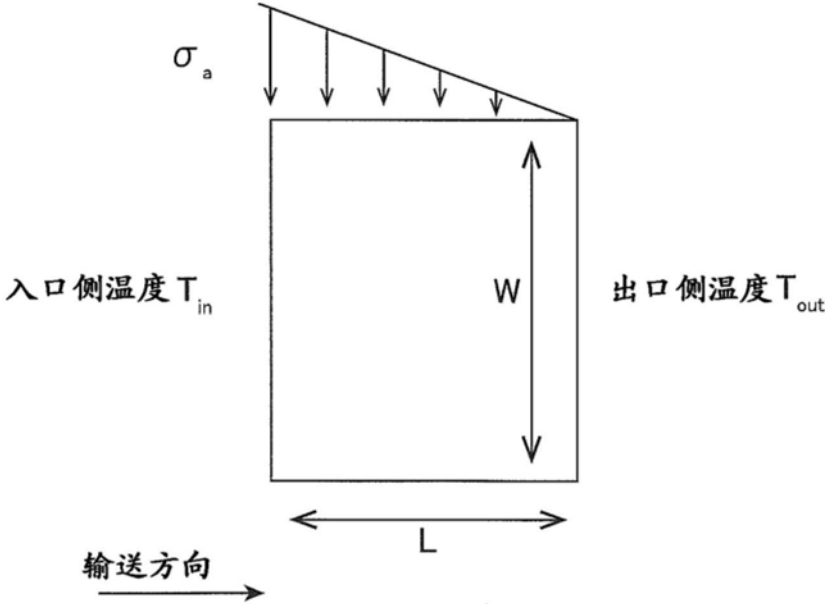


图8

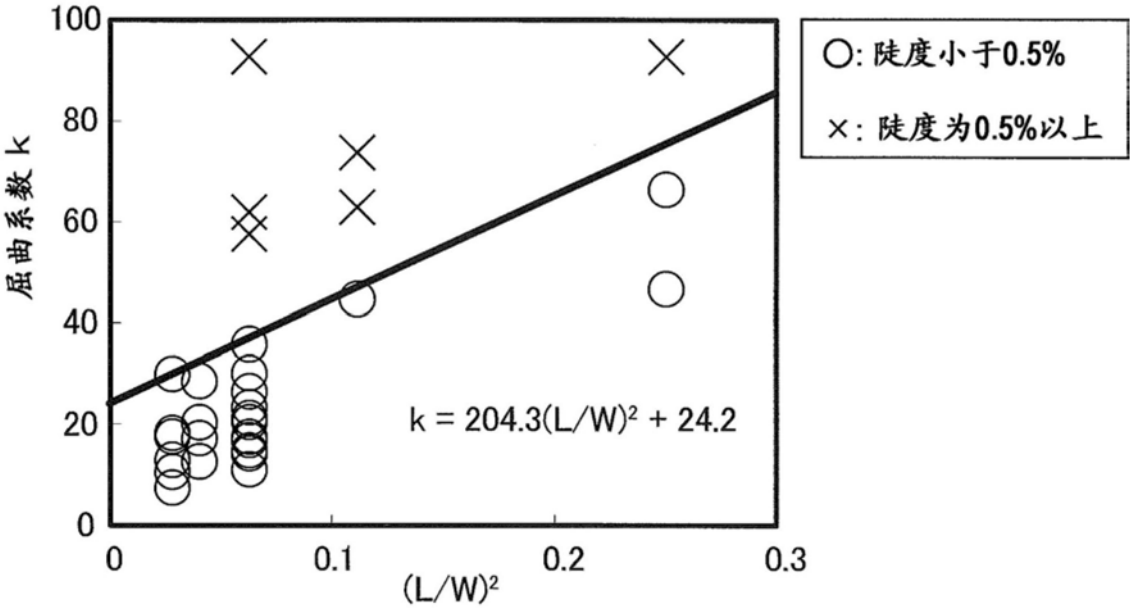


图9