



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101972780 B

(45) 授权公告日 2013. 06. 26

(21) 申请号 201010539673. 6

(22) 申请日 2010. 11. 11

(73) 专利权人 攀钢集团钢铁钒钛股份有限公司  
地址 617000 四川省攀枝花市东区向阳村技  
质部

专利权人 攀钢集团攀枝花钢钒有限公司

(72) 发明人 肖利 刘勇 温亚成 曹枫洲  
李俊洪 雷红刚 王飞龙 余广夫  
张中平 张宏 刘波

(74) 专利代理机构 成都虹桥专利事务所(普通  
合伙) 51124

代理人 杨冬

(51) Int. Cl.

B21B 37/74(2006. 01)

G22F 1/18(2006. 01)

(56) 对比文件

CN 101403890 A, 2009. 04. 08,

CN 101628297 A, 2010. 01. 20,

CN 1178250 A, 1998. 04. 08,

CN 101811143 A, 2010. 08. 25,

US 2005131572 A1, 2005. 06. 16,

EP 1658533 A2, 2006. 05. 24,

审查员 侯艳嫔

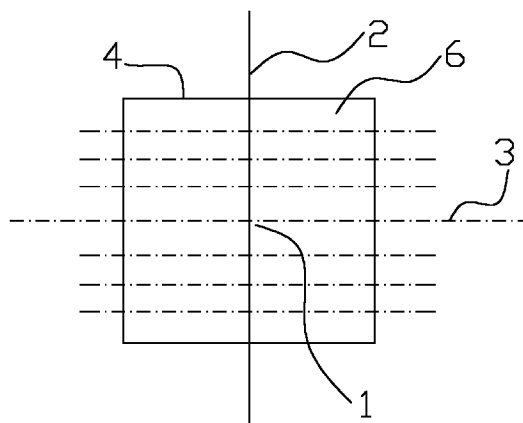
权利要求书1页 说明书7页 附图1页

(54) 发明名称

热轧钛材铸坯温度控制方法

(57) 摘要

本发明公开了一种热轧钛材铸坯温度控制方法,包括以下步骤:获取钛材铸坯的计划信息;获取钛材铸坯的热工参数;建立加热数学模型,用加热数学模型计算钛材铸坯的当前温度  $\theta_{AV}$ ,根据钛材铸坯在炉时间、当前温度  $\theta_{AV}$ 以及钛材铸坯的计划信息调节炉膛温度。通过本发明的方法可将钛材铸坯经过加热后的实际出炉温度与目标出炉温度的差值控制在  $-15^{\circ}\text{C} \sim +15^{\circ}\text{C}$ 。保证了轧制稳定性和产品质量。



1. 热轧钛材铸坯温度控制方法,包括以下步骤:

A、获取钛材铸坯的计划信息,所述计划信息包括钛材铸坯的种类、目标出炉温度、最短加热时长以及厚度;

B、获取钛材铸坯的热工参数,所述热工参数包括斯特藩-玻尔兹曼常数  $\sigma$ ,综合辐射常数  $\varepsilon$ ,钛材铸坯的热传导率  $\lambda$ ;

C、建立加热数学模型,用加热数学模型计算钛材铸坯的当前温度  $\theta_{AV}$ ,所述数学模型为:

$$\theta_{AV} = (\theta_1 + \theta_2 + \theta_3 + \dots + \theta_i) / i,$$

$$\text{其中, } \theta_i = -\frac{q_{SUF}}{\lambda \cdot H} \cdot X_i^2 + \frac{q_{SUF} \cdot H}{4 \lambda} + \theta_{SUF},$$

$$\text{其中, } q_{SUF} = \varepsilon \cdot \sigma \cdot \{(\theta_{AIR} + 273)^4 - (\theta_{SUF} + 273)^4\} - 2.8 \cdot (\theta_{SUF} - \theta_{AIR})^{1.25},$$

其中,

$\theta_{AV}$  为钛材铸坯的当前温度;

$\theta_i$  为钛材铸坯的各层面温度,分层方法为:以钛材铸坯(6)中心作为坐标原点(1),以厚度方向为 X 坐标轴(2),用 i 个层面将钛材铸坯(6)均分,i 为奇数,每个层面与 X 坐标轴垂直相交,且钛材铸坯(6)的顶面(4)为第一层面,经过坐标原点(1)的层面为中间层面(3), $X_i$  为各层面与 X 坐标轴(2)相交的坐标;

$q_{SUF}$  为热流密度;

$\lambda$  为钛材铸坯的热传导率,所述热传导率  $\lambda$  为 20 ~ 100;

H 为钛材铸坯的厚度;

$\theta_{SUF}$  为钛材铸坯的表层温度,数学模型计算的第一个计算周期内  $\theta_{SUF}$  取装炉端实测的钛材铸坯的表面温度,从数学模型计算的第二个计算周期开始,当前计算周期的  $\theta_{SUF}$  取上一个计算周期通过数学模型计算出的钛材铸坯的第一层面温度  $\theta_1$ ;

$\varepsilon$  为综合辐射常数, $\varepsilon$  是修建加热炉时,根据炉子状况所测定的一个常数值,该值随着加热炉的长年使用及翻修会有所变化,一般取 0.1 ~ 1;

$\sigma$  为斯特藩-玻尔兹曼常数, $\sigma$  为  $4.88 \times 10^{-8} \text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$ ;

$\theta_{AIR}$  为炉气温度,数学模型计算的第一个计算周期,炉气温度  $\theta_{AIR}$  取钛材铸坯装入加热炉时的实测大气温度,从数学模型计算的第二个计算周期开始,炉气温度  $\theta_{AIR}$  取钛材铸坯所处位置的实测炉气温度;

计算周期为,先计算出  $q_{SUF}$ ,然后将  $q_{SUF}$  及相关参数代入  $\theta_i$  的计算公式中得到  $\theta_i$  值,然后将  $\theta_i$  值代入  $\theta_{AV}$  的计算公式中得到钛材铸坯的当前温度  $\theta_{AV}$  值;

D、根据钛材铸坯在炉时间、当前温度  $\theta_{AV}$  以及钛材铸坯的计划信息调节炉膛温度。

## 热轧钛材铸坯温度控制方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种热轧钛材铸坯出炉温度的控制技术,尤其涉及一种用数学模型对热轧钛材铸坯的出炉温度进行精确控制的方法。

### 背景技术

[0002] 钛材铸坯在热轧前,需要把钛材铸坯加热到所需的轧制温度(目标出炉温度),该目标出炉温度对热轧工艺至关重要,直接影响最终钛材的质量,但钛材铸坯经过加热后的实际出炉温度往往与目标出炉温度相差较大,经红外测温检测,最大差值达到 65℃,且实际出炉温度波动也较大,严重影响了钛材质量。造成上述问题的主要原因是由于目前国内外对钛材生产的时间不长,对于钛材铸坯的控温方法一般是仅通过控制炉温来控制钛材铸坯的加热过程,并通过炉温和加热时间来估测钛材铸坯的当前温度,这种方式估测的钛材铸坯的当前温度与实测温度相差较大,该种控温方式也不能动态监视钛材铸坯内部温度变化,且不能准确控制钛材铸坯的当前温度,因此会产生以下问题:

[0003] (1) 钛材铸坯断面温度不可见、不可控,钛材铸坯整体温度不均匀;

[0004] (2) 钛材铸坯实际出炉温度波动较大,导致后续的热轧稳定性不好,故障频发,加热炉产能下降,钛材铸坯的加热温度均匀性变差,产品性能波动大;

[0005] (3) 限制着钛材的量产和最终产品质量及性能。

[0006] 另外,中国专利 201010154134.0 公开了一种待轧保温钢材铸坯温度控制方法,该方法解决的技术问题是通过数学模型计算和修正带扎保温钢材铸坯的温度,并利用自动控制的方法,使得待轧钢材铸坯的温度满足在不同轧制工艺下与正常加热钢材铸坯相同的生产条件,保证轧制生产连续稳定的进行。该温度控制方法的技术方案中用加热数学模型计算待轧保温钢材铸坯的当前温度,该加热数学模型为:

[0007]  $\theta_{AV} = (\theta_1 + \theta_2 + \theta_3 + \dots + \theta_i) / i,$

[0008] 其中,  $\theta_i = \frac{q_{SUF}}{\lambda \cdot (H/2)} \cdot X_i^2 - \frac{q_{SUF} \cdot H}{4\lambda} + \theta_{SUF},$

[0009] 其中,  $q_{SUF} = \varepsilon \cdot \sigma \cdot \{(\theta_{ATR} + 273)^4 - (\theta_{SUF} + 273)^4\} - 2.8 \cdot (\theta_{SUF} - \theta_{ATR})^2,$

[0010] 通过上述数学模型可以获得待轧保温钢材铸坯的当前温度。

[0011] 虽然通过上述数学模型可以获得待轧钢材铸坯的当前温度,但上述中国专利文献中没有给出任何关于将上述数学模型可以应用到钛材加工领域以解决钛材加热控温问题的技术启示。而且,将上述数学模型应用到钛材铸坯加热过程中对钛材铸坯的当前温度进行计算时,得到的当前温度与实测温度差距较大,即无法将上述数学模型应用到钛材铸坯的加热过程中对钛材铸坯的温度进行控制。

[0012] 另外,一般情况下,钢材加工领域中应用的钢材控温技术无法应用到钛材的加工领域,这是由于钛与钢差异比较大,钛与钢的比较:

[0013] (1) 纯钛比热为 579J/(Kg·℃),大于钢的比热 460J/(Kg·℃);

[0014] (2) 纯钛热传导系数为 15.1J/(m·s·℃),约为钢热传导系数 45J/(m·s·℃)

的三分之一；

[0015] (3) 纯钛的黑度系数约为 0.59, 低于钢的黑度系数 0.7。

[0016] 由以上分析可知：

[0017] (1) 热传导小, 则同等条件纯钛比钢达到内外温度一致需要的时间更长；

[0018] (2) 作为加热炉来说, 其炉内传热主要以辐射传热为主, 钛黑度系数比钢要小, 则同等条件下通过辐射吸热更少, 要把钛与钢升到相同的温度, 则钛需要的时间更长；

[0019] (3) 钛的比热大, 则在相同热量情况下, 钛材铸坯相对钢坯的温度更低；

[0020] 综上所述, 钛材铸坯的加热方式不能像钢坯一样快速高温加热, 钛材铸坯只能采用缓慢低温加热, 否则会造成钛材铸坯与周围炉气温差过大, 这样会使钛材铸坯内应力较大, 较大的内应力会使钛材铸坯发生变形、扭曲甚至崩裂；而且内外温差较大, 产生的内应力即使没有使钛板产生物理变形, 但因内应力的存在, 严重影响钛板性能而且会给深加工产生破坏性后果, 不利于产品的推广使用。

[0021] 而且, 在加热过程中, 钛材内部的相变过程与钢材内部的相变过程截然不同, 因此钛材的加热制度与钢材的加热制度截然不同, 这就导致钛材加工领域的普通技术人员不会想到在钢材加工领域寻找钛材加热过程的控制方法去解决钛材加热过程中遇到的问题。

## 发明内容

[0022] 本发明解决的技术问题是提供一种可以精确控制热轧钛材铸坯实际出炉温度的热轧钛材铸坯温度控制方法。

[0023] 本发明解决其技术问题所采用的技术方案是：热轧钛材铸坯温度控制方法, 包括以下步骤：

[0024] A、获取钛材铸坯的计划信息；

[0025] B、获取钛材铸坯的热工参数, 所述热工参数包括斯特藩 - 玻尔兹曼常数  $\sigma$ , 综合辐射常数  $\varepsilon$ , 钛材铸坯的热传导率  $\lambda$ ；

[0026] C、建立加热数学模型, 用加热数学模型计算钛材铸坯的当前温度  $\theta_{AV}$ , 所述数学模型为：

[0027] 
$$\theta_{AV} = (\theta_1 + \theta_2 + \theta_3 + \dots + \theta_i) / i,$$

[0028] 其中, 
$$\theta_i = -\frac{q_{SUF}}{\lambda \cdot H} \cdot X_i^2 + \frac{q_{SUF} \cdot H}{4 \lambda} + \theta_{SUF},$$

[0029] 其中, 
$$q_{SUF} = \varepsilon \cdot \sigma \cdot \{(\theta_{ATR} + 273)^4 - (\theta_{SUF} + 273)^4\} - 2.8 \cdot (\theta_{SUF} - \theta_{ATR})^{1.25},$$

[0030] 其中,

[0031]  $\theta_{AV}$  为钛材铸坯的当前温度；

[0032]  $\theta_i$  为钛材铸坯的各层面温度, 分层方法为：以钛材铸坯中心作为坐标原点, 以厚度方向为 X 坐标轴, 用 i 个层面将钛材铸坯均分, i 为奇数, 每个层面与 X 坐标轴垂直相交, 且钛材铸坯的顶面为第一层面, 经过坐标原点的层面为中间层面,  $X_i$  为各层面与 X 坐标轴相交的坐标；

[0033]  $q_{SUF}$  为热流密度；

[0034]  $\lambda$  为钛材铸坯的热传导率；

[0035] H 为钛材铸坯的厚度；

[0036]  $\theta_{\text{SUF}}$  为钛材铸坯的表层温度,数学模型计算的第一个计算周期内  $\theta_{\text{SUF}}$  取装炉端实测的钛材铸坯的表面温度,从数学模型计算的第二个计算周期开始,当前计算周期的  $\theta_{\text{SUF}}$  取上一个计算周期通过数学模型计算出的钛材铸坯的第一层面温度  $\theta_1$ ;

[0037]  $\varepsilon$  为综合辐射常数;

[0038]  $\sigma$  为斯特藩-玻尔兹曼常数;

[0039]  $\theta_{\text{AIR}}$  为炉气温度,数学模型计算的第一个计算周期,炉气温度  $\theta_{\text{AIR}}$  取钛材铸坯装入加热炉时的实测大气温度,从数学模型计算的第二个计算周期开始,炉气温度  $\theta_{\text{AIR}}$  取钛材铸坯所处位置的实测炉气温度;

[0040] 计算周期为,先计算出  $q_{\text{SUF}}$ ,然后将  $q_{\text{SUF}}$  及相关参数代入  $\theta_i$  的计算公式中得到  $\theta_i$  值,然后将  $\theta_i$  值代入  $\theta_{\text{AV}}$  的计算公式中得到钛材铸坯的当前温度  $\theta_{\text{AV}}$  值;

[0041] D、根据钛材铸坯在炉时间、当前温度  $\theta_{\text{AV}}$  以及钛材铸坯的计划信息调节炉膛温度。

[0042] 进一步的是:所述计划信息包括钛材铸坯的种类、目标出炉温度、最短加热时长以及厚度。

[0043] 进一步的是:所述综合辐射常数  $\varepsilon$  为 0.1~1。

[0044] 进一步的是:所述热传导率  $\lambda$  为 20~100。

[0045] 本发明的有益效果是:通过本发明的方法可将钛材铸坯经过加热后的实际出炉温度与目标出炉温度的差值控制在  $-15^{\circ}\text{C} \sim +15^{\circ}\text{C}$ 。另外,上述将钛材铸坯进行均分的  $i$  个层面越多,即  $i$  值越大,则最终通过数学模型计算出的钛材铸坯的当前温度越准确。

## 附图说明

[0046] 图 1 为钛材铸坯分层示意图。

[0047] 图中标记为:1-坐标原点,2-X 坐标轴,3-中间层面,4-顶面,6-钛材铸坯。

## 具体实施方式

[0048] 下面结合附图和实施例对本发明进一步说明。

[0049] 热轧钛材铸坯温度控制方法,包括以下步骤:

[0050] (1) 获取钛材铸坯的计划信息,该计划信息可以包括:钛材铸坯的种类、目标出炉温度、最短加热时长以及厚度,还可以包括钛材铸坯的加热工艺中的其它参数,例如每个加热阶段的时长以及温度控制范围等。

[0051] (2) 获取钛材铸坯的热工参数,所述热工参数包括斯特藩-玻尔兹曼常数  $\sigma$ ,综合辐射常数  $\varepsilon$ ,钛材铸坯的热传导率  $\lambda$ ,所述斯特藩-玻尔兹曼常数  $\sigma$  为  $4.88 \times 10^{-8} \text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$ ,所述综合辐射常数  $\varepsilon$  一般为 0.1~1,例如  $\varepsilon$  可取 0.1,0.3,0.6,0.7,0.9 等,综合辐射常数  $\varepsilon$  是修建加热炉时,根据炉子状况所测定的一个常数值,该值随着加热炉的长年使用及翻修会有所变化,一般取 0.1~1,同时,该值可根据后工序反映的温度情况而做调整,所述热传导率  $\lambda$  为 20~100,例如  $\lambda$  可取 20,30,50,60,70,80,90 等;

[0052] (3) 建立加热数学模型,在建立数学模型时,将钛材铸坯当作理想的立方体形状,用加热数学模型计算钛材铸坯的当前温度  $\theta_{\text{AV}}$ ,所述数学模型为:

[0053]  $\theta_{\text{AV}} = (\theta_1 + \theta_2 + \theta_3 + \dots + \theta_i) / i,$

[0054] 其中,  $\theta_i = -\frac{q_{SUF}}{\lambda \cdot H} \cdot X_i^2 + \frac{q_{SUF} \cdot H}{4 \lambda} + \theta_{SUF}$  ,

[0055] 其中,  $q_{SUF} = \varepsilon \cdot \sigma \cdot \{(\theta_{ATR}+273)^4 - (\theta_{SUF}+273)^4\} - 2.8 \cdot (\theta_{SUF} - \theta_{ATR})^{1.25}$  ,

[0056] 其中,

[0057]  $\theta_{AV}$  为钛材铸坯的当前温度;

[0058]  $\theta_i$  为钛材铸坯的各层面温度, 分层方法为: 如图 1 所示, 以钛材铸坯 6 中心作为坐标原点 1, 以厚度方向为 X 坐标轴 2, 用 i 个层面将钛材铸坯 6 均分, i 为奇数, 每个层面与 X 坐标轴 2 垂直相交, 且钛材铸坯 6 的顶面 4 为第一层面, 经过坐标原点 1 的层面为中间层面 3, 即该层面为第 (i+1)/2 层面, 这就使得坐标原点 1 以上的层面数与坐标原点 1 以下的层面数相等, 且相邻两个层面之间的距离相同, 这样就将钛材铸坯 6 均分,  $X_i$  为各层面与 X 坐标轴 2 相交的坐标;

[0059]  $q_{SUF}$  为热流密度, 是炉气与钛材铸坯表面进行热交换的强度, 国外也称为热流束;

[0060]  $\lambda$  为钛材铸坯的热传导率;

[0061] H 为钛材铸坯的厚度, 即置于加热炉中的钛材铸坯的底面距顶面之间的垂直距离;

[0062]  $\theta_{SUF}$  为钛材铸坯的表层温度, 数学模型计算的第一个计算周期内  $\theta_{SUF}$  取装炉端实测的钛材铸坯的表面温度, 从数学模型计算的第二个计算周期开始, 当前计算周期的  $\theta_{SUF}$  取上一个计算周期通过数学模型计算出的钛材铸坯的第一层面温度  $\theta_1$ ;

[0063]  $\varepsilon$  为综合辐射常数;

[0064]  $\sigma$  为斯特藩 - 玻尔兹曼常数;

[0065]  $\theta_{ATR}$  为炉气温度, 数学模型计算的第一个计算周期, 炉气温度  $\theta_{ATR}$  取钛材铸坯装入加热炉时的实测大气温度, 从数学模型计算的第二个计算周期开始, 炉气温度  $\theta_{ATR}$  取钛材铸坯所处位置的实测炉气温度;

[0066] 计算周期为, 先计算出  $q_{SUF}$ , 然后将  $q_{SUF}$  及相关参数代入  $\theta_i$  的计算公式中得到  $\theta_i$  值, 然后将  $\theta_i$  值代入  $\theta_{AV}$  的计算公式中得到钛材铸坯的当前温度  $\theta_{AV}$  值。

[0067] 上述各种参数值可通过计算机存储在数据库中, 通过数据库进行快速调用。

[0068] (4) 根据钛材铸坯在炉时间、当前温度  $\theta_{AV}$  以及钛材铸坯的计划信息调节炉膛温度。

[0069] 实施例一

[0070] 以某钢厂加热厚度为 200mm 的钛材铸坯为例, 使用本发明控制温度的具体步骤如下:

[0071] (1) 制定加热钛材铸坯工艺制度 (见表 1 和表 2)。

[0072] 表 1 钛坯加热工艺制度 - 温度制度

出炉目标温度 (±15℃)	各段模型计算温度/℃				出炉目标温度 (±15℃)
	热回收段	预热段	加热段	均热段	
825℃	≤600℃	600~750℃	730~830℃	≤860℃	825℃

[0074] 表 2 钛坯加热工艺制度 - 时间制度

[0075]

	热回收段	预热段	加热段	均热段	总加热时间
停留时间 /min	> 30	> 20	< 30	> 25	140 ~ 170

[0076] (2) 获得当前铸坯轧制计划信息 (见表 3)。

[0077] 表 3 计划信息

[0078]

钢种	厚度	最短加热时长	出炉目标温度
TA1	200mm	140min	825℃

[0079] (3) 获得钛材铸坯炉内所在位置炉气温度  $\theta_{ATR} = 750^\circ\text{C}$ 。

[0080] (4) 获得钛材铸坯通过数学模型计算出的上一周期的第一层面温度  $\theta_1 = 713^\circ\text{C}$ 。

[0081] (5) 使用数学模型计算当前时刻铸坯温度  $\theta_{AV}$ 。

[0082]  $\theta_{AV} = (\theta_1 + \theta_2 + \theta_3 + \dots + \theta_i) / i$ ,

[0083]  $\theta_{AV}$ : 为待轧保温铸坯各层温度的平均值, 也即铸坯数学模型计算的当前温度其中:

[0084]  $\theta_1$ : 为铸坯的第一层面温度;

[0085]  $\theta_i (\theta_2, \theta_3, \dots)$ : 为铸坯的内部温度, 本实施例的分层数  $i$  值为 5; 每层的温度用以下计算公式计算:

[0086]  $\theta_i = -\frac{q_{SUF}}{\lambda \cdot H} \cdot X_i^2 + \frac{q_{SUF} \cdot H}{4 \lambda} + \theta_{SUF}$ , 其中:

[0087]  $q_{SUF} = \varepsilon \cdot \sigma \cdot \{(\theta_{ATR} + 273)^4 - (\theta_{SUF} + 273)^4\} - 2.8 \cdot (\theta_{SUF} - \theta_{ATR})^{1.25}$ ,

[0088]  $q_{SUF}$ : 为热流密度, 是炉气与铸坯表面进行热交换的强度, 国外也称为热流束。

[0089] 其中:

[0090]  $\varepsilon$ : 为综合辐射常数, 本实施例取 0.8。

[0091]  $\sigma$ : Stefan-Boltzmann 常数, 即斯特藩-玻尔兹曼常数, 该常数可以从热工手册中得到, 本实施例取  $4.88 \times 10^{-8} \text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$ 。

[0092]  $\theta_{ATR}$ : 由于本次计算周期为第二计算周期之后的计算周期, 因此取铸坯所处位置的实测炉气温度  $750^\circ\text{C}$ 。

[0093]  $\theta_{SUF}$ : 在计算第一周期时, 为刚装炉时铸坯的表面温度, 即装炉端测温仪实测的表面温度值, 本实施例装炉端实测的表面温度值是  $25^\circ\text{C}$ , 当铸坯在炉内经由加热数学模型进行第二至第  $n$  周期计算时,  $\theta_{SUF}$  则从数据库中取数学模型上周期计算的第一层面温度  $\theta_1$  值, 本实例上一周期数学模型计算的第一层面温度为  $713^\circ\text{C}$ 。

[0094] 本实施例用上述公式所计算的热流密度  $q_{SUF} = 5748.74$ 。

[0095]  $\lambda$ : 为钛材铸坯的热传导率, 本实施例取  $\lambda$  值为 60。

[0096]  $H$ : 为钛材铸坯的厚度, 本实施例厚度取值为 200mm。

[0097]  $X_i$ : 本发明的铸坯厚度为 200mm, 共分为 5 层, 即:  $X_1 = 100, X_2 = 50, X_3 = 0, X_4 = -50, X_5 = -100$ , 将计算出的  $q_{SUF}$  值代入  $\theta_1$  并计算出  $\theta_1$  值, 然后再将  $\theta_1$  代入  $\theta_{AV}$  公式中, 计算出钛材铸坯的当前温度为  $722^\circ\text{C}$ 。

[0098] (6) 钛材铸坯的出炉目标温度  $825^\circ\text{C}$  高于当前时刻钛材铸坯温度  $722^\circ\text{C}$ , 因此, 在

后续控热过程中,可根据在炉时间,调整炉气温度,以提升钛材铸坯温度,使其能按照预定时间和预定目标出炉温度出炉。

[0099] 实施例二

[0100] 以某钢厂加热厚度为 140mm 的钛材铸坯为例,使用本发明控制温度的具体步骤如下:

[0101] (1) 制定加热钛材铸坯工艺制度(见表 4 和表 5)。

[0102] 表 4 钛坯加热工艺制度 - 温度制度

[0103]	出炉目标温度	各段模型计算温度/°C				出炉目标温度
	(±15°C)	热回收段	预热段	加热段	均热段	(±15°C)
	825°C	≤600°C	600~700°C	700~800°C	≤850°C	825°C

[0104] 表 5 钛坯加热工艺制度 - 时间制度

[0105]

	热回收段	预热段	加热段	均热段	总加热时间
停留时间 /min	> 30	> 20	< 30	> 25	140 ~ 170

[0106] (2) 获得当前铸坯轧制计划信息(见表 6)。

[0107] 表 6 计划信息

[0108]

钢种	厚度	最短加热时长	出炉目标温度
TA1	140mm	120min	825°C

[0109] (3) 获得钛材铸坯炉内所在位置炉气温度  $\theta_{AIR} = 850^\circ\text{C}$ 。

[0110] (4) 获得钛材铸坯通过数学模型计算出的上一周期的第一层面温度  $\theta_1 = 823^\circ\text{C}$ 。

[0111] (5) 使用数学模型计算当前时刻铸坯温度  $\theta_{AV}$ 。

[0112]  $\theta_{AV} = (\theta_1 + \theta_2 + \theta_3 + \dots + \theta_i) / i$ ,

[0113]  $\theta_{AV}$ :为待轧保温铸坯各层温度的平均值,也即铸坯数学模型计算的当前温度;其中:

[0114]  $\theta_1$ :为铸坯的第一层面温度;

[0115]  $\theta_i$  ( $\theta_2, \theta_3, \dots$ ):为铸坯的内部温度,本实施例的分层数  $i$  值为 5;每层的温度用以下计算公式计算:

[0116]  $\theta_i = -\frac{q_{SUF}}{\lambda \cdot H} \cdot X_i^2 + \frac{q_{SUF} \cdot H}{4 \lambda} + \theta_{SUF}$ , 其中:

[0117]  $q_{SUF} = \varepsilon \cdot \sigma \cdot \{(\theta_{AIR} + 273)^4 - (\theta_{SUF} + 273)^4\} - 2.8 \cdot (\theta_{SUF} - \theta_{AIR})^{1.25}$ ,

[0118]  $q_{SUF}$ :为热流密度,是炉气与铸坯表面进行热交换的强度,国外也称为热流束。其中:

[0119]  $\varepsilon$ :为综合辐射常数,本实施例取 0.8。

[0120]  $\sigma$ :Stefan-Boltzmann 常数,即斯特藩-玻尔兹曼常数,该常数可以从热工手册中

得到,本实施例取  $4.88 \times 10^{-8} \text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$ 。

[0121]  $\theta_{\text{ATR}}$ :由于本次计算周期为第二周期之后的计算周期,因此取铸坯所处位置的实测炉气温度  $850^\circ\text{C}$ 。

[0122]  $\theta_{\text{SUF}}$ :在计算第一周期时,为刚装炉时铸坯的表面温度,即装炉端测温仪实测的表面温度值,本实施例装炉端实测的表面温度值是  $25^\circ\text{C}$ ,当铸坯在炉内经由加热数学模型进行第二至第  $n$  周期计算时,  $\theta_{\text{SUF}}$  则从数据库中取数学模型上周期计算的第一层面温度  $\theta_1$  值,本实例上一周期数学模型计算的第一层面温度为  $823^\circ\text{C}$ 。

[0123] 本实施例用上述公式所计算的热流密度  $q_{\text{SUF}} = 5701.11$ 。

[0124]  $\lambda$ :为钛材铸坯的热传导率,本实施例取  $\lambda$  值为  $60$ 。

[0125]  $H$ :为钛材铸坯的厚度,本实施例的铸坯厚度为  $140\text{mm}$ 。

[0126]  $X_i$ :本发明的铸坯厚度为  $140\text{mm}$ ,共分为  $5$  层,即: $X_1 = 70, X_2 = 35, X_3 = 0, X_4 = -35, X_5 = -70$ ,将计算出的  $q_{\text{SUF}}$  值代入  $\theta_1$  并计算出  $\theta_1$  值,然后再将  $\theta_1$  代入  $\theta_{\text{AV}}$  公式中,计算出钛材铸坯的当前温度为  $831^\circ\text{C}$ 。

[0127] (6) 钛材铸坯的出炉目标温度  $825^\circ\text{C}$  高于当前时刻钛材铸坯温度  $831^\circ\text{C}$ ,因此,在后续控热过程中,可根据在炉时间,调整炉气温度,以降低钛材铸坯温度,使其能按照预定时间和预定目标温度出炉。

[0128] 某钢厂使用该发明方法加热钛材铸坯  $400$  多吨,生产过程实现连续加热,且加热出炉的钛材铸坯质量相当高(见表 7),为轧线提供了品质较高的钛材铸坯,保证了轧制稳定性和产品质量,相比没使用该发明前同生产量相比,创造效益  $600$  多万元。

[0129] 表 7 某钢厂加热出炉钛材铸坯质量

[0130]

目标温度命中率 ( $\pm 15^\circ\text{C}$ )	断面温差	同板温差	异板温差
98.50%	$\pm 15^\circ\text{C}$	$\pm 20^\circ\text{C}$	$\pm 20^\circ\text{C}$

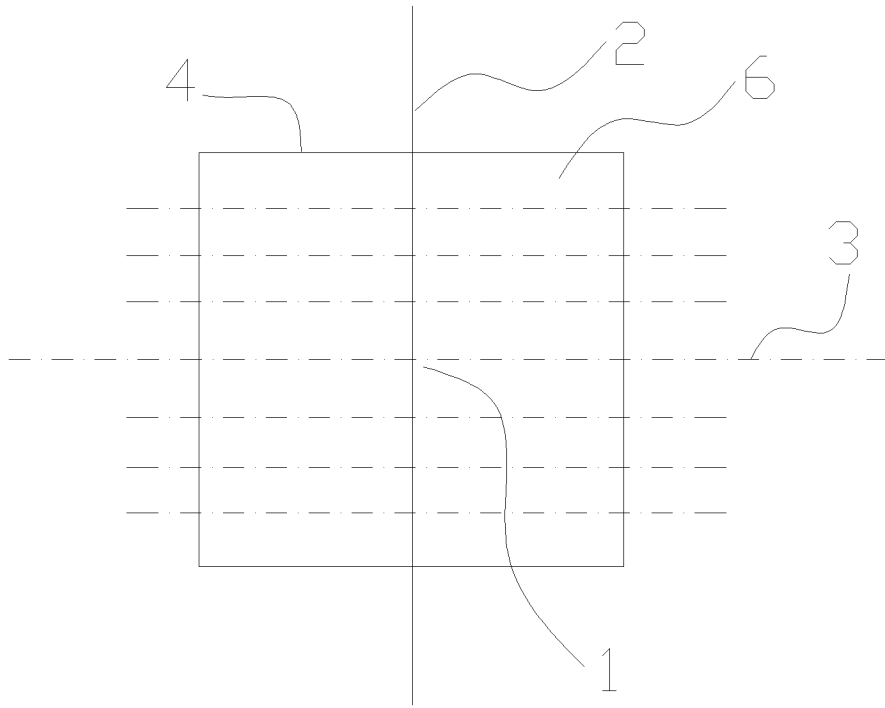


图 1