



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 109848385 B

(45)授权公告日 2020.08.04

(21)申请号 201910182915.1

B22D 11/16(2006.01)

(22)申请日 2019.03.12

审查员 辛立君

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 109848385 A

(43)申请公布日 2019.06.07

(73)专利权人 上海大学

地址 200444 上海市宝山区上大路99号

(72)发明人 张云虎 徐燕祎 叶春洋 申延平

常旺 徐智帅 郑红星 宋长江

翟启杰

(74)专利代理机构 南京苏创专利代理事务所

(普通合伙) 32273

代理人 杨勇

(51)Int.Cl.

B22D 11/12(2006.01)

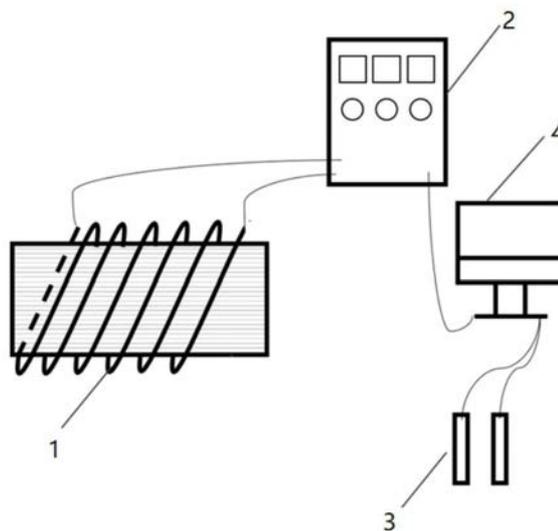
权利要求书1页 说明书4页 附图1页

(54)发明名称

一种基于电磁感应加热连铸恒温出坯的装置及方法

(57)摘要

本发明公开了一种基于电磁感应加热连铸恒温出坯的装置及方法,包括套设于连铸坯上的螺线管线圈,与该螺线管线圈相连接的电源控制柜,对切割后的连铸坯首尾温度进行采集的红外测温仪,以及与红外测温仪温度和电源控制柜相连的微机系统;恒温出坯方法包括采用红外测温仪记录切割后连铸坯首尾温度 T_1 和 T_2 ,反馈至微机系统,启动电源控制柜,输出起始功率 P_1 至结束功率 P_2 ,随后微机系统以间隔时间 T_p 重启电源控制柜,进行下一周期的起始功率 P_1 至结束功率 P_2 输出。本发明装置结构简单,采用该装置进行恒温出坯的方法,能够降低铸坯长度方向和径向的温度梯度,减少轧制前由于连铸坯温度分布不均而产生的热应力并提升组织均匀性。



1. 一种基于电磁感应加热连铸恒温出坯的方法,其特征在于:该方法中所涉及的装置包括套设于连铸坯上的螺线管线圈(1),与该螺线管线圈(1)相连接的电源控制柜(2),对切割后的连铸坯首尾温度进行采集的红外测温仪(3),以及对红外测温仪(3)温度进行反馈并调控电源控制柜(2)的微机系统(4);

恒温出坯的方法包括如下步骤:采用红外测温仪(3)记录首次切割后连铸坯首尾温度 T_1 和 T_2 ,微机系统(4)根据连铸坯的首尾温度,启动电源控制柜(2),对下一进入螺线管线圈(1)内的连铸坯输出起始功率 P_1 至结束功率 P_2 ,随后微机系统(4)以间隔时间 T_p 重启电源控制柜(2),进行再下一连铸坯的起始功率 P_1 至结束功率 P_2 输出,直至完成所有连铸坯出坯;其中,起始功率 P_1 、结束功率 P_2 及间隔时间 T_p 满足如下公式:

$$T_p = \frac{L}{v};$$

$$P_1 = \eta \frac{\xi Q_3 v}{L_1}, Q_3 = \frac{c \rho S (T_2 - T_1) (2LL_1 - L_1^2)}{2L};$$

$$P_2 = \eta (I_2')^2 R, I_2' = \sqrt{\frac{3\xi Q_1 v}{RL} - \frac{3}{4} (I_1')^2} - \frac{1}{2} I_1', Q_1 = \frac{c \rho S (T_2 - T_1) L}{2}, R = \frac{L_1}{\sigma S};$$

上述公式中, T_p 为电源控制柜(2)重启间隔时间; L 为铸坯长度 m ; v 为拉坯速度 m/s ; P_1 为电源控制柜(2)的起始输出功率; η 为感应加热线圈热效率; ξ 为吸热系数,对应的是由铸坯吸热、辐射、经过线圈位置冷却水散热以及导轨传热造成的热量损耗; Q_3 为铸坯头部的吸热量; L_1 为线圈长度 m ; c 为钢的比热容 $J/(Kg \cdot K)$; ρ 为钢的密度 Kg/m^3 ; S 为铸坯横截面积 m^2 ; T_1 和 T_2 为铸坯头部和末端表面温度 $^{\circ}C$; P_2 为电源控制柜(2)的结束输出功率; I_2' 为螺线管线圈的结束电流; R 为线圈覆盖区域铸坯的电阻; Q_1 为铸坯加热过程中吸收的全部热量; I_1' 为螺线管线圈的起始电流; σ 为钢的电导率。

2. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于:所述螺线管线圈(1)设于连铸机的辊轴间,位于火焰切割机(5)前端或后端。

3. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于:所述螺线管线圈(1)内的电流 $I(t)$ 为 $I(t) = I_p \cos(2\pi ft + \varphi)$,其中, I_p 为电流峰值, f 为电流频率。

4. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于:所述电流频率 f 为50~2500Hz。

一种基于电磁感应加热连铸恒温出坯的装置及方法

技术领域

[0001] 本发明属于连铸领域,尤其涉及一种基于电磁感应加热连铸恒温出坯的装置及方法。

背景技术

[0002] 连铸是钢铁生产的主要方式,目前世界上90%以上的钢铁都采用连铸的方法生产。为进一步地提高钢铁产品的生产效率,研究开发了连铸坯热送直接轧制技术,即通过感应补热的方法对铸坯边角部分进行加热,使得铸坯无须经过加热炉即可满足轧制要求。该方法相比非传统方法(连铸坯在加热炉内升温后轧制),具有节约能源、缩短连铸坯出钢到热轧成材的生产周期等诸多优点。然而,现有的感应补热方法,大多聚焦于铸坯角部的补热和均热,未能消除径向方向温度分布不均这一问题,尤其是连铸坯长度方向的温度分布不均。而温度分布的不均匀性将导致组织分布不均并产生热应力,影响轧制后铸坯的质量。

[0003] 且连铸坯长度方向和径向温度分布不均匀的问题是无法通过工艺优化来消除的。这源自连铸技术的工艺特性:连铸坯前端暴露在空气中的时间较后端长,因而冷却强度比后端大--暴露在空气中的不同时长决定了连铸坯长度方向上势必存在温度差;结晶器和二冷区内的连铸坯都从表面进行散热,因此连铸坯在径向上的冷却过程也会造成温度差。虽然现阶段已有通过调整连铸工艺参数来改善连铸坯温度分布不均这一问题的方法,比如提高拉速,即通过减小连铸坯冷却时间来降低铸坯长度和径向上的温度差,但依然不能从根本上消除温度差。

发明内容

[0004] 发明目的:本发明的第一目的是提供一种能够从根本上消除连铸坯径向和长度方向上的温度差,进而实现连铸坯恒温出坯的装置;

[0005] 本发明的第二目的是提供采用上述装置进行恒温出坯的方法。

[0006] 技术方案:本发明基于电磁感应加热连铸恒温出坯的装置,包括套设于连铸坯上的螺线管线圈,与该螺线管线圈相连接的电源控制柜,对切割后的连铸坯首尾温度进行采集的红外测温仪,以及对红外测温仪温度进行反馈并调控电源控制柜的微机系统。

[0007] 进一步说,本发明的螺线管线圈设于连铸机的辊轴间,位于火焰切割机前端。

[0008] 本发明采用上述装置进行恒温出坯的方法,包括如下步骤:采用红外测温仪记录首次切割后连铸坯首尾温度 T_1 和 T_2 ,微机系统根据连铸坯的首尾温度,启动电源控制柜,对下一进入螺线管线圈内的连铸坯输出起始功率 P_1 至结束功率 P_2 ,随后微机系统以间隔时间 T_p 重启电源控制柜,进行再下一连铸坯的起始功率 P_1 至结束功率 P_2 输出,直至完成所有连铸坯出坯;其中,起始功率 P_1 、结束功率 P_2 及间隔时间 T_p 满足如下公式:

$$[0009] \quad T_p = \frac{L}{v};$$

$$[0010] \quad P_1 = \eta \frac{\xi Q_3 v}{L_1}, Q_3 = \frac{c \rho S (T_2 - T_1) (2LL_1 - L_1^2)}{2L};$$

$$[0011] \quad P_2 = \eta(I_2)^2 R, I_2 = \sqrt{\frac{3\xi Q_1 v}{RL} - \frac{3}{4}(I_1)^2} - \frac{1}{2}I_1, Q_1 = \frac{c\rho S(T_2 - T_1)L}{2}, R = \frac{1L_1}{\sigma S};$$

[0012] 上述公式中, T_p 为电源控制柜(2)重启间隔时间; L 为铸坯长度 m ; v 为拉坯速度 m/s ; P_1 为电源控制柜(2)的起始输出功率; η 为感应加热线圈热效率; ξ 为吸热系数, 由铸坯吸热、辐射、经过线圈位置冷却水散热以及导轨传热造成的热量损耗; Q_3 为铸坯头部的吸热量; L_1 为线圈长度 m ; c 为钢的比热容 $J/(Kg \cdot K)$; ρ 为钢的密度 Kg/m^3 ; S 为铸坯横截面积 m^2 ; T_1 和 T_2 为铸坯头部和末端表面温度 $^{\circ}C$; P_2 为电源控制柜(2)的结束输出功率; I_2 为螺线管线圈的结束电流; R 为线圈覆盖区域铸坯的电阻; Q_1 为铸坯加热过程中吸收的全部热量; I_1 为螺线管线圈的起始电流; σ 为钢的电导率。

[0013] 更进一步说, 本发明螺线管线圈内的电流 $I(t)$ 满足 $I(t) = I_p \cos(2\pi ft + \varphi)$, 其中, I_p 为电流峰值, f 为电流频率。优选的, 电流频率 f 为 $50 \sim 2500Hz$ 。

[0014] 有益效果: 与现有技术相比, 本发明的显著优点为: 该装置结构简单, 操作简便, 同时采用该装置进行恒温出坯的方法, 能够从根本上降低铸坯长度方向和径向的温度梯度, 减少轧制前由于连铸坯温度分布不均而产生的热应力并提升组织均匀性, 进而提高轧制后铸坯质量。

附图说明

[0015] 图1为本发明装置的结构示意图;

[0016] 图2为本发明螺线管线圈位于火焰切割机前端的结构示意图;

[0017] 图3为本发明螺线管线圈位于火焰切割机后端的结构示意图。

具体实施方式

[0018] 下面结合附图及实施例对本发明的技术方案做进一步详细说明。

[0019] 如图1所示, 本发明基于电磁感应加热连铸恒温出坯的装置, 包括设于连铸机的辊轴间, 进而能够套设于加热段的连铸坯上的螺线管线圈1, 与该螺线管线圈1相连接的电源控制柜2, 对首次切割后的连铸坯首尾温度进行采集的红外测温仪3, 以及对红外测温仪1温度进行反馈并调控电源控制柜2的微机系统4。

[0020] 其中, 螺线管线圈1优选可为水冷螺线管线圈, 可灵活位于火焰切割机5前端或后端, 如图2及图3所示, 优选设于前端, 而螺线管线圈1形式多样, 可根据实际连铸坯形状进行选择, 可以是方形螺线管线圈、矩形螺线管线圈或圆形螺线管线圈, 且螺线管线圈1不与铸坯接触, 因此不会污染铸坯, 属于洁净加热, 且加热方式简单, 不会有耗材上的损耗。而电源控制柜2输出的电流形式可多样, 可根据实际情况选用交变电流或脉冲电流。本发明通过对首次切割后的连铸坯进行首尾温度采集后, 进而根据该首尾温度的反馈, 对后续进入螺线管线圈1内的连铸坯进行加热, 进而达到恒温出坯的目的。该装置的自动化程度高, 事先在微机系统4输入必要参数后, 微机系统4可根据红外测温仪3收集的温度数据, 计算并控制电源控制柜2向螺线管线圈1输出的功率。

[0021] 本发明采用上述装置进行恒温出坯的方法, 具体包括如下步骤:

[0022] (1) 依据连铸坯界面形状, 选择界面与之相似的螺线管线圈1, 铺设螺线管线圈1, 并通入冷却水;

[0023] (2) 在微机系统4中,输入 T_p 、 P_1 、 P_2 表达式,以及除温度以外的其它所需参数,包括 L_1 、 c 、 ρ 、 σ 、 S 、 L 、 v 能够测得的参数等;

[0024] (3) 启动微机系统4,微机系统4记录红外测温仪3测量的火焰切割机5首次切割后的连铸坯的首尾温度 T_1 和 T_2 ,并计算 T_p 、 P_1 、 P_2 ;

[0025] (4) 微机系统4控制电源控制柜2控制启动,并输出功率 P_1 ,并线性减小至 P_2 ,对下一个连铸坯进行加热,每间隔 T_p ,微机系统4将重启电源控制柜2,以保证下一周期输出的功率仍由 P_1 线性减小至 P_2 ,进而对再下一个连铸坯进行加热。

[0026] 其中,线性指 $P = (P_2 - P_1) \frac{v}{L} t + P_1$,当 $t=0$ 时, $P=P_1$;当 $t=L/v$ 即 T_p 时, $P=P_2$ 。

[0027] 而起始功率 P_1 、结束功率 P_2 及间隔时间 T_p 的满足如下公式:

$$[0028] \quad T_p = \frac{L}{v};$$

$$[0029] \quad P_1 = \eta \frac{\xi Q_3 v}{L_1}, Q_3 = \frac{c \rho S (T_2 - T_1) (2LL_1 - L_1^2)}{2L};$$

$$[0030] \quad P_2 = \eta (I_2')^2 R, I_2' = \sqrt{\frac{3\xi Q_1 v}{RL} - \frac{3}{4} (I_1')^2} - \frac{1}{2} I_1', Q_1 = \frac{c \rho S (T_2 - T_1) L}{2}, R = \frac{1L_1}{\sigma S}.$$

[0031] 本发明的电源控制柜2在火焰切割机5前端或后端的螺线管线圈1内通入交流电或脉冲电流,该电流在空间中激发出的交流磁场或脉冲磁场,交流磁场或脉冲磁场在连铸坯内部产生感应电流,感应电流在连铸坯内产生焦耳热,进而加热铸坯。加热期间,线圈内通入的电流表达式为 $I(t) = I_p \cos(2\pi f t + \varphi)$ 。根据趋肤深度 $\delta = \sqrt{\frac{\rho}{\pi f \mu}}$,铸坯内感生电流主要集中于表面,并成指数径向衰减。为提高感应加热的热效率,铸坯等效直径和趋肤深度满足

$\frac{D}{\delta} = 2.5 \sim 5.5$,由此确定的电流频率通常在 $50 \sim 2500\text{Hz}$ 。(当 $D > 150\text{mm}$ 时, f 通常选用 50Hz ,当 $D <$

150mm 时,参照 $\frac{D}{\delta}$ 值。)其中 I_p 、 δ 、 μ 、 ρ 、分别代表电流峰值、趋肤深度、铸坯的磁导率、电阻率, D 对于圆坯代表直径,方坯代表边长,板坯代表厚度。

[0032] 当电流频率一定时,随着拉坯的进行,电源控制柜2的输出功率由高向低变化,即螺线管线圈1内电流峰值 I_p 由高向低减小(I_1 减小至 I_2)。每当火焰切割机5下刀后,电源控制柜2的输出功率重新由高向低变化,以保证每块连铸坯长度方向上,螺线管线圈1对铸坯前端的加热效果大于后端;由于趋肤效应,电磁场主要集中在连铸坯表层,在铸坯内部呈现指数型衰减,因此在连铸坯径向上,螺线管线圈1对铸坯表面加热效果大于内部,上述加热效果与连铸坯自身“铸坯前端温度较后端低,表面温度较内部低”这一工艺特性相结合,最终使得铸坯水平方向和径向温度分布均匀。

[0033] 实施例1

[0034] 45号钢方坯连铸边长 150mm ,拉速 $1200\text{mm}/\text{min}$,切割机切下的铸坯长 1200mm 。

[0035] 根据资料,45号钢 $\sigma = \frac{1}{0.3548 \times 10^{-7}} \text{S}/\text{m}$, $\rho = 7500\text{Kg}/\text{m}^3$, $c = 450\text{J}/(\text{Kg} \cdot \text{K})$

[0036] 根据上述条件,选用方形水冷螺线管线圈,线圈内径 170mm 。由于方坯直径 150mm ,因此感应加热线圈中通入的电流频率 $f = 50\text{Hz}$ 。

[0037] 当感应加热线圈长 50mm 。假设红外测温仪测量连铸坯头尾两处的温度分别为 $T_1 =$

900℃, $T_2=1000^\circ\text{C}$ 。

[0038] 根据 P_1 、 P_2 公式,当 ξ 取1.2, η 取0.85时,将上述参数输入微机系统,计算机根据公式计算得 $P_1=208\text{KW}$, $P_2=32\text{KW}$, $T_p=60\text{s}$ 。

[0039] 即(1)固定水冷螺线管线圈的位置,并通入冷却水;(2)将上述参数输入微机系统,微机系统根据输入参数和红外测温仪器采集的数据,计算得到初始功率 P_1 为208KW,结束功率 P_2 为32KW;(3)微机系统控制电源控制柜,向水冷螺线管线圈输入上述变化的功率;(4)每60s重启电源,使得对下一段铸坯的加热过程中,电源控制柜的输出功率由208KW降低至32KW。最终实现全部连铸坯的恒温出坯。

[0040] 实施例2

[0041] 某轴承钢板坯连铸截面厚度100mm,宽400mm连铸为例,拉速800mm/min,切割机切下的铸坯长1200mm。

[0042] 根据资料,该钢 $\sigma=7.34\times 10^5\text{S/m}$, $\rho=7200\text{Kg/m}^3$, $c=540\text{J}/(\text{Kg}\cdot\text{K})$ 。

[0043] 根据上述条件,感应加热线圈使用矩形线圈,线圈截面长120mm,宽420mm。由于板坯厚度 $D=100\text{mm}$,根据 $\frac{D}{\delta}=2.5\sim 5.5$,因此感应加热线圈内通入的电流频率范围 $f=86\sim 190\text{Hz}$,这里选择100Hz。

[0044] 当感应加热线圈长50mm。假设红外测温仪测量连铸坯头尾两处的温度分别为 $T_1=900^\circ\text{C}$, $T_2=1100^\circ\text{C}$ 。

[0045] 根据 P_1 、 P_2 公式,当 ξ 取1.2, η 取0.85时,将上述参数输入微机系统,计算机根据公式计算得 $P_1=562\text{KW}$, $P_2=66\text{KW}$, $T_p=90\text{s}$ 。

[0046] 即(1)固定水冷螺线管线圈的位置,并通入冷却水;(2)将上述参数输入微机系统,微机系统根据输入参数和红外测温仪器采集的数据,计算得到初始功率 P_1 为562KW,结束功率 P_2 为66KW;(3)微机系统控制电源控制柜,向水冷螺线管线圈输入上述变化的功率;(4)每90s重启电源,使得对下一段铸坯的加热过程中,电源控制柜的输出功率由562KW降低至66KW。最终实现全部连铸坯的恒温出坯。

[0047] 实施例3

[0048] 45号钢圆坯连铸直径150mm,拉速1200mm/min,切割机切下的铸坯长1200mm。

[0049] 根据资料,45号钢 $\sigma = \frac{1}{0.3548\times 10^{-7}}\text{S/m}$, $\rho=7500\text{Kg/m}^3$, $c=450\text{J}/(\text{Kg}\cdot\text{K})$ 。由于圆坯直径 $D=150\text{mm}$,因此感应加热线圈内通入的电流频率选50Hz。

[0050] 当感应加热线圈长50mm。假设红外测温仪测量连铸坯头尾两处的温度分别为 $T_1=900^\circ\text{C}$, $T_2=1000^\circ\text{C}$ 。

[0051] 根据 P_1 、 P_2 公式,当 ξ 取1.2, η 取0.85时,将上述参数输入微机系统,计算机根据公式计算得 $P_1=235\text{KW}$, $P_2=188\text{KW}$, $T_p=60\text{s}$ 。

[0052] 即(1)固定水冷螺线管线圈的位置,并通入冷却水;(2)将上述参数输入微机系统,微机系统根据输入参数和红外测温仪器采集的数据,计算得到初始功率 P_1 为235KW,结束功率 P_2 为188KW;(3)微机系统控制电源控制柜,向水冷螺线管线圈输入上述变化的功率;(4)每60s重启电源,使得对下一段铸坯的加热过程中,电源控制柜的输出功率由235KW降低至188KW。最终实现全部连铸坯的恒温出坯。

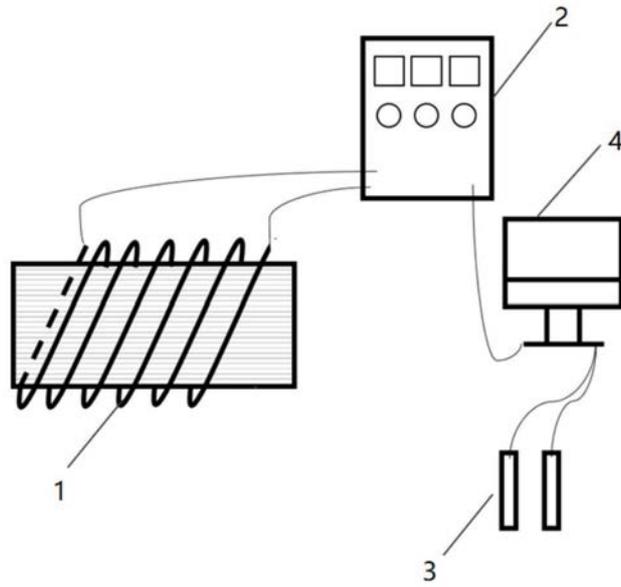


图1

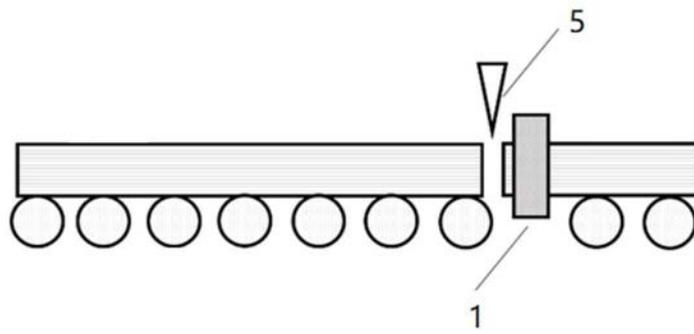


图2

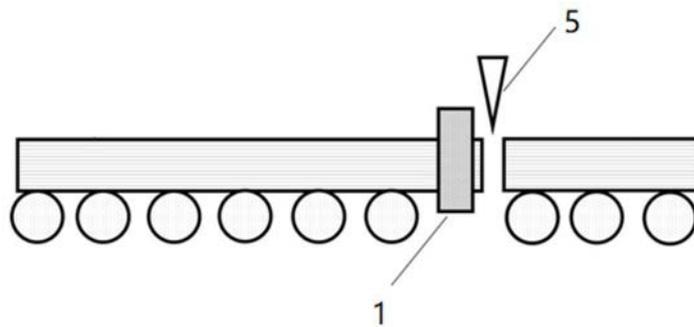


图3