



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 109694946 B

(45)授权公告日 2020.06.23

(21)申请号 201711004691.2

C21D 9/60(2006.01)

(22)申请日 2017.10.24

C21D 11/00(2006.01)

(65)同一申请的已公布的文献号

审查员 陈小红

申请公布号 CN 109694946 A

(43)申请公布日 2019.04.30

(73)专利权人 宝山钢铁股份有限公司

地址 201900 上海市宝山区富锦路885号

(72)发明人 章华兵 李国保 刘宝军 韩丹  
张鑫强 崔光华 陈建兵 肖稳  
赵自鹏

(74)专利代理机构 北京金信知识产权代理有限  
公司 11225

代理人 吴崇 张慧玉

(51)Int.Cl.

C21D 1/42(2006.01)

权利要求书1页 说明书9页 附图1页

(54)发明名称

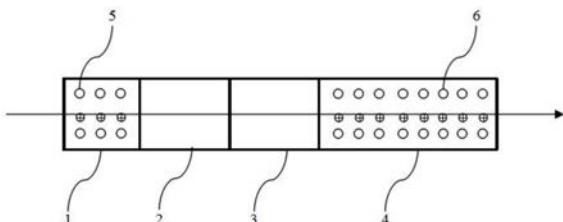
快速加热冷轧带钢的装置与方法

(57)摘要

本发明公开了一种快速加热冷轧带钢的装置与方法。其中，快速加热冷轧带钢的装置，包括加热区、均热区和冷却区，其特征在于，所述加热区沿待加热的带钢的移动方向依次被划分为第一加热段、第二加热段、第三加热段和第四加热段，第一加热段和第四加热段为辐射加热段，第二加热段和第三加热段为感应加热段。快速加热冷轧带钢的方法，采用本发明实施例所述的快速加热冷轧带钢的装置对待加热的带钢进行加热。本发明的快速加热冷轧带钢的装置与方法，通过在传统退火炉加热段中间串联两个感应加热装置，提高生产效率并降低吨钢能耗，同时提高板温控制精度以及成品质量。

B

CN 109694946



1. 一种快速加热冷轧带钢的装置，包括加热区、均热区和冷却区，其特征在于，所述加热区沿待加热的带钢的移动方向依次被划分为第一加热段、第二加热段、第三加热段和第四加热段，其中，

所述第一加热段中设有利用气体加热或电加热的第一辐射加热机构，使所述第一加热段能够将所述带钢加热至温度介于200℃至目标居里温度-100℃的范围内；

所述第二加热段中设有利用第一感应线圈的第一感应加热机构，使所述第二加热段能够将所述带钢加热至温度介于300℃至所述目标居里温度-50℃的范围内；

所述第三加热段中设有利用第二感应线圈的第二感应加热机构，使所述第三加热段能够将所述带钢加热至温度介于所述目标居里温度-30℃至所述目标居里温度-3℃的范围内；

所述第四加热段中设有利用气体加热或电加热的第二辐射加热机构，使所述第四加热段能够将带钢加热至温度大于所述目标居里温度的范围内；

其中，所述第一感应加热机构和第二感应加热机构的电流频率的范围为100-1000KHz。

2. 如权利要求1所述的快速加热冷轧带钢的装置，其特征在于，所述第一加热段与所述第二加热段之间设置有至少一个不同波长的第一板温计，所述第二加热段与所述第三加热段之间设置有至少一个不同波长的第二板温计，所述第三加热段与所述第四加热段之间设置有至少一个不同波长的第三板温计。

3. 如权利要求1所述的快速加热冷轧带钢的装置，其特征在于，所述第一感应加热机构包括依次连接的第一整流器、第一逆变器和含有第一感应线圈的第一振荡回路，所述第一逆变器接收所述第一整流器提供的第一直流电并转化为第一高频电流提供给所述第一振荡电路；所述第二感应加热机构包括依次连接的第二整流器、第二逆变器和含有第二感应线圈的第二振荡回路，所述第二逆变器接收所述第二整流器提供的第二直流电并转化为第二高频电流提供给所述第二振荡电路。

4. 一种快速加热冷轧带钢的方法，其特征在于，采用如权利要求1-3任一项所述的快速加热冷轧带钢的装置对待加热的带钢进行加热。

5. 如权利要求4所述的快速加热冷轧带钢的方法，其特征在于，第一加热段出口的第一目标板温为400~550℃。

6. 如权利要求4所述的快速加热冷轧带钢的方法，其特征在于，根据第三加热段的升温速度设置第二加热段出口的第二目标板温，所述第三加热段的升温速度为50-150℃/s。

7. 如权利要求6所述的快速加热冷轧带钢的方法，其特征在于，所述第二加热段的功率控制方法为：根据所述第二目标板温和第二板温计的检测值的比较结果，调整所述第二加热段的加热功率。

8. 如权利要求4所述的快速加热冷轧带钢的方法，其特征在于，所述第三加热段的功率控制方法为：设置所述第三加热段的初始功率和所述第三加热段出口的第三目标板温，根据所述第三目标板温和第三板温计的检测值的比较结果，基于所述初始功率调整所述第三加热段的加热功率。

9. 如权利要求4所述的快速加热冷轧带钢的方法，其特征在于，所述第三加热段的功率控制方法为：设置所述第三加热段的目标阻抗，根据所述目标阻抗和所述第三加热段的运行阻抗的比较结果，调整所述第三加热段的加热功率。

## 快速加热冷轧带钢的装置与方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及钢铁生产技术领域,尤其涉及一种快速加热质量分数4.5%以下Si含量的取向硅钢冷轧带钢的装置与方法。

### 背景技术

[0002] 在金属带钢连续退火过程中,为了获得高品质的产品,通常需要严格管理加热温度与加热时间。例如,作为变压器铁芯用途的低铁损高磁感取向硅钢,在其制造过程中的脱碳退火工序,就需要采用极为严格的温度管理要求。如果带钢在加热段出口温度低,则有效脱碳时间减少,脱碳效果差;如果带钢在加热段出口温度高,可能短时间内超过目标均热温度,则会过早形成致密氧化膜阻碍脱碳,进而脱碳效果不佳。总之,加热段温度波动不但影响脱碳稳定性进而导致磁性能波动,还会大大增加成品表面缺陷的发生率。

[0003] 近些年,取向硅钢冷轧带钢已越来越多地采用快速加热工艺进行热处理。相比其它快速加热方法,如通电快速加热等方法,感应加热方法的应用最为广泛,也最为成熟。

[0004] 例如,中国专利(CN101652485A)公开了一种退火设备,其加热段可以划分为三段,其中:第1加热段为利用气体加热或电加热的辐射加热段,将钢带加热至小于居里温度Tc-50℃;第2加热段为高频感应加热段,将带钢加热至居里温度Tc-30℃至居里温度Tc-5℃;第3加热段与第1加热段结构类似,为辐射加热段,将带钢加热至超过居里温度Tc的目标温度。该退火设备的加热段的主要特点是,在加热段中间设有一段快速感应加热,其最大不足在于:(1)受制于一台感应加热装置的最大能力,第1加热段的出口板温通常不能低于居里温度Tc-150℃,并且第1加热段的出口板温必须为500℃以上。对于厚带钢或机组速度比较快的情况,第1加热段出口温度还需要进一步升高,否则第2加热段出口的带钢温度不能达到或接近居里温度Tc,进而导致带钢沿板宽方向的温度均匀性变差,因此,制约了生产效率的进一步提升;(2)快速升温曲线单一,不利于精确控制初次再结晶组织,成品磁性能改善效果受到限制;(3)由于冷轧带钢表面状态波动以及第1加热段加热工况波动,第1加热段出口板温通常波动较大,尽管可以利用高频感应加热的特性,实现第2加热段出口板温的稳定控制,但前提是要采用类似该专利文献中所公开的复杂控制方案,板温控制技术要求高。

[0005] 中国专利(CN104603298A)公开了一种退火设备,其加热段可以划分为四段,其中:第1段为感应加热段,配有至少1台感应加热装置;第2段为一长度为1~30m的加热停止区或者升温速度介于0~10℃/s的慢加热区,第2段板温介于250~600℃;第3段也为感应加热段,同样配有至少1台感应加热装置;第4段为常规辐射加热段。需要重点指出的是,第2段的作用是使快速加热后的带钢内温度分布均匀,从而实现带钢板形与磁性能提升。该退火设备的加热段的主要特点是,从室温即开始采用二台以上的感应加热装置,将带钢快速升温至居里温度Tc附近,该方法不足在于:(1)由于要将带钢从室温快速加热至居里温度Tc附近,需要串联至少三台甚至四台感应加热装置,否则产品规格或机组速度受到限制;(2)由于冷轧带钢在回复退火前即采用非常高的升温速度,需要在250~600℃另增一段温度缓冲区,否则因应力集中与板温不均匀等问题,带钢板形与磁性能劣化;(3)由于入口即采用内

高非常小的感应加热装置,需要特殊化设计加热段炉压与保护气氛的控制方案,否则成品表面缺陷增加。因此,该方法的设备投入成本相对较高,且炉内气氛控制难度大。

[0006] 针对现有技术的上述不足,本发明提供了一种加热段板温控制精度高、成品磁性能与表面质量优异的快速加热质量分数4.5%以下Si含量的取向硅钢冷轧带钢的装置与方法。

## 发明内容

[0007] 为解决上述问题,本发明提供一种快速加热冷轧带钢的装置与方法,通过在传统退火炉加热段中间串联两个感应加热装置,提高生产效率并降低吨钢能耗,同时提高板温控制精度以及成品质量。

[0008] 为实现上述目的,本发明的一种快速加热冷轧带钢的装置,包括加热区、均热区和冷却区,所述加热区沿待加热的带钢的移动方向依次被划分为第一加热段、第二加热段、第三加热段和第四加热段,其中,

[0009] 所述第一加热段中设有利用气体加热或电加热的第一辐射加热机构,使所述第一加热段能够将所述带钢加热至温度介于200℃至目标居里温度100℃以下的范围内;

[0010] 所述第二加热段中设有利用第一感应线圈的第一感应加热机构,使所述第二加热段能够将所述带钢加热至温度介于300℃至所述目标居里温度50℃以下的范围内;

[0011] 所述第三加热段中设有利用第二感应线圈的第二感应加热机构,使所述第三加热段能够将所述带钢加热至温度介于所述目标居里温度以下30℃至所述目标居里温度以下3℃的范围内;

[0012] 所述第四加热段中设有利用气体加热或电加热的第二辐射加热机构,使所述第四加热段能够将带钢加热至温度大于所述目标居里温度的范围内。

[0013] 进一步地,所述第一加热段与所述第二加热段之间设置有至少一个不同波长的第一板温计,所述第二加热段与所述第三加热段之间设置有至少一个不同波长的第二板温计,所述第三加热段与所述第四加热段之间设置有至少一个不同波长的第三板温计。

[0014] 进一步地,所述第一感应加热机构包括依次连接的第一整流器、第一逆变器和含有第一感应线圈的第一振荡回路,所述第一逆变器接收所述第一整流器提供的第一直流电并转化为第一高频电流提供给所述第一振荡电路;所述第二感应加热机构包括依次连接的第二整流器、第二逆变器和含有第二感应线圈的第二振荡回路,所述第二逆变器接收所述第二整流器提供的第二直流电并转化为第二高频电流提供给所述第二振荡电路。

[0015] 进一步地,所述第一感应加热机构和第二感应加热机构的电流频率的范围为100-1000KHz。

[0016] 本发明还提供了一种快速加热冷轧带钢的方法,采用上述的快速加热冷轧带钢的装置对待加热的带钢进行加热。

[0017] 进一步地,第一加热段出口的第一目标板温为400~550℃。

[0018] 进一步地,根据第三加热段的升温速度设置第二加热段出口的第二目标板温,所述第三加热段的升温速度为50-150℃/s。

[0019] 进一步地,所述第二加热段的功率控制方法为:根据所述第二目标板温和第二板温计的检测值的比较结果,调整所述第二加热段的加热功率。

[0020] 进一步地,所述第三加热段的功率控制方法为:设置所述第三加热段的初始功率和所述第三加热段出口的第三目标板温,根据所述第三目标板温和第三板温计的检测值的比较结果,基于所述初始功率调整所述第三加热段的加热功率。

[0021] 进一步地,所述第三加热段的功率控制方法为:设置所述第三加热段的目标阻抗,根据所述目标阻抗和所述第三加热段的运行阻抗的比较结果,调整所述第三加热段的加热功率。

[0022] 本发明的快速加热冷轧带钢的装置与方法,在传统退火炉加热区中间串联两个感应加热装置,使加热区形成四段,其中,设置第一加热段的目的是为了有效地避免从室温直接快速加热导致带钢板型和磁性能劣化的问题;设置第二加热段和第三加热段两个感应加热段,与现有的一段式感应加热段相比,可以缩短加热区的整体长度,并降低快速升温的起始温度,从而提升生产效率并降低吨钢能耗。

## 附图说明

[0023] 图1为本发明实施例的快速加热冷轧带钢的装置的结构示意图;

[0024] 图2为本发明实施例的第一感应加热机构的结构示意图。

## 具体实施方式

[0025] 下面,结合附图,对本发明的结构以及工作原理等作进一步的说明。

[0026] 如图1所示,本发明实施例的一种快速加热冷轧带钢10的装置,包括加热区、均热区和冷却区。其中,加热区沿待加热的带钢10的移动方向依次被划分为第一加热段1、第二加热段2、第三加热段3和第四加热段4,具体的,第一加热段1和第四加热段4为辐射加热段,第二加热段2和第三加热段3为感应加热段。

[0027] 在本发明实施例中,第一加热段1中设有利用气体加热或电加热的第一辐射加热机构5,使第一加热段1能够将带钢10加热至温度介于200℃至目标居里温度100℃的范围内。其中,第一加热段1的出口板温选择主要考虑退火炉的安全性和经济性,兼顾成品质量要求。

[0028] 第二加热段2中设有利用第一感应线圈的第一感应加热机构,使第二加热段2能够将带钢10加热至温度介于300℃至目标居里温度50℃的范围内。其中,第二加热段2的出口板温选择主要考虑成品磁性能要求,兼顾感应加热使用效率。

[0029] 第三加热段3中设有利用第二感应线圈的第二感应加热机构,使第三加热段3能够将带钢10加热至温度介于目标居里温度以下30℃至目标居里温度以下3℃的范围内。其中,第三加热段3的出口板温越接近目标居里温度,带钢10沿宽度方向的温度均匀性越好,同时感应加热装置的使用效率也越高。另一方面,当带钢10到达或接近目标居里温度时,会发生磁性转变,带钢10的导磁率急剧降低,带钢10加热效率也迅速下降,此时感应加热装置的电压波动大,会影响带钢10长度方向的温度均匀性及感应加热装置稳定运行。

[0030] 第四加热段4中设有利用气体加热或电加热的第二辐射加热机构6,使第四加热段4能够将带钢10加热至温度大于目标居里温度的范围内,从而完成对于带钢10的加热过程。

[0031] 在本发明实施例中,第一加热段1与第二加热段2之间设置有至少一个不同波长的第一板温计,第二加热段2与第三加热段3之间设置有至少一个不同波长的第二板温计,第

三加热段3与第四加热段4之间设置有至少一个不同波长的第三板温计,可以准确地测量出每一个加热段的出口板温。在本发明实施例中,第一板温计、第二板温计和第三板温计均可以采用红外温度传感器,其工作原理为通过非接触的方式测量带钢10的表面温度。采用多波长可以对可变的发射率、光的干扰、温度校准进行补偿,因此低温观测时,或在含有蒸汽的气氛中测温精度更高。

[0032] 具体地,在第一加热段1与第二加热段2之间设置有至少一个第一板温计,用于检测第一加热段1的出口板温。

[0033] 第二加热段2与第三加热段3之间设置有至少一个第二板温计,用于检测该位置带钢10的实际板温。尽管该位置不受第一加热段1和第四加热段4中的辐射管工作状态的影响,检测环境良好,但由于该位置板温通常低于700℃,带钢10辐射率很容易受带钢10表面状态的影响,可以通过优选多个波长的板温计提高测量精度。

[0034] 第三加热段3与第四加热段4之间设置有至少一个第三板温计,用于检测该位置带钢10的实际板温。由于该位置板温计容易受第四加热段4中的辐射管的影响,且第三加热段3的出口板温通常在750℃以下,带钢10辐射率也容易受带钢10表面状态的影响,因此,尽管可以通过优选多个波长的板温计提高测量精度,但考虑到第三加热段3的出口纵向/横向板温控制的重要性,该测量精度通常不能直接用于板温反馈控制。

[0035] 在本发明实施例中,如图2所示为第一感应加热机构的结构示意图,第一感应加热机构包括依次连接的第一整流器7、第一逆变器8和含有第一感应线圈的第一振荡回路9,通过第一整流器7向由晶体管构成的第一逆变器8提供第一直流电,再由第一逆变器8向第一振荡电路提供第一高频电流。第二感应加热机构与第一感应加热机构相似,第二感应加热机构包括依次连接的第二整流器、第二逆变器和含有第二感应线圈的第二振荡回路,通过第二整流器向由晶体管构成的第二逆变器提供第二直流电,再由第二逆变器向第二振荡电路提供第二高频电流。

[0036] 感应加热机构的励磁电流频率对感应电流的透入深度有重要影响,励磁电流频率越低,感应电流的透入深度越深。如果带钢10厚度小于透入深度的2.5倍,电流会被大大削弱,难以进行低成本的加热。由此,如果第一感应加热机构和第二感应加热机构的电流频率低于100kHz,感应电流透入深度较深,带钢10表面温度升温速度慢,难以满足薄带钢10的工艺要求;如果电流频率高于1000kHz,感应加热机构的制造成本显著增加,为了解决这个问题,在本发明实施例中,第一感应加热机构和第二感应加热机构的电流频率的范围为100-1000kHz。优选地,电流频率的范围为300-700kHz,既能满足极薄规格如0.15mm厚取向硅钢的快速加热要求,也可以将感应加热机构的制造成本控制在合理水平。

[0037] 本发明还提供了一种快速加热冷轧带钢10的方法,采用上述的本发明实施例的快速加热冷轧带钢10的装置对待加热的带钢10进行加热。

[0038] 在本发明实施例中,第一加热段1的出口板温选择主要考虑退火炉的安全性和经济性,兼顾成品质量要求。若第一加热段1出口的第一目标板温T<sub>1</sub>低于400℃,则第一加热段1内炉温通常会低于750℃,对于高氢保护气氛,退火炉存在安全隐患。若第一加热段1出口的第一目标板温T<sub>1</sub>高于550℃,感应加热装置的运行经济性会降低,因此,第一加热段1的第一目标板温T<sub>1</sub>为400~550℃。此外,在400℃以下采用第一辐射加热机构5,其加热效率高且带钢10沿宽度方向的温度均匀性好,并可以利用均热区废气热量进一步降低运行能耗。

[0039] 在本发明实施例中,根据第三加热段3的升温速度设置第二加热段2出口的第二目标板温。从成品磁性能角度考虑,第三加热段3的升温速度优选 $50\sim150^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 。在确定第三加热段3升温速度后,即可以再根据公式 $T_2=T_3-V_2/V_1 \times L_2$ 确定第二加热段2的第二目标板温 $T_2$ ,其中, $T_3$ 为第三加热段3的出口板温, $L_2(\text{m})$ 为第二感应加热的线圈长度, $V_1(\text{m}/\text{s})$ 为带钢10移动速度, $V_2(\text{C}/\text{s})$ 为第三加热段3升温速度。

[0040] 在本发明实施例中,第二加热段2的功率控制方法具体为:根据第二目标板温 $T_2$ 和第二板温计的检测值的比较结果,调整第二加热段2的加热功率。具体地,可以在控制程序中设定第二目标板温设定值 $T_{2A}$ ,将第二板温计检测值和第二目标板温设定值 $T_{2A}$ 进行比较,动态调整感应加热功率使第二加热段2的出口板温趋近第二目标板温设定值 $T_{2A}$ ,进而实现第二加热段2的出口板温的稳定控制,根据 $T_2$ 和 $T_{2A}$ 差值动态调节感应加热装置的运行电压和运行电流。

[0041] 在本发明实施例中,第三加热段3的功率控制方法为:设置第三加热段3的初始功率和第三加热段3出口的第三目标板温,根据第三目标板温和第三板温计的检测值的比较结果,基于初始功率调整所述第三加热段3的加热功率。

[0042] 具体地,初始功率 $P_{20}$ 的计算公式为:

$$P_{20}=f(\rho, E, R, \theta, W, V_1, \Delta T)$$

[0044] 其中, $\rho$ 为带钢10的密度, $E$ 为带钢10的比能量, $R$ 为带钢10的电阻率, $\theta$ 为带钢10特性参数; $\theta$ 为带钢10的厚度, $W$ 为带钢10的宽度,为带钢10尺寸参数; $V_1$ 为带钢10移动速度, $\Delta T$ 为设定温差,为工艺参数。初始功率 $P_{20}$ 的计算公式为理论公式,实际生产过程中,可以基于出口板温与带钢10特性参数、带钢10尺寸参数、工艺参数拟合得到。

[0045] 对于材质相同的带钢10而言,初始功率 $P_{20}$ 的计算公式可以简化为:

$$P_{20}=K_1 \cdot f(\theta, W, V_1, \Delta T)$$

[0047] 其中 $K_1$ 是与材料特性相关的常数。在实际生产中,可以根据不同带钢10特性给出不同 $K_1$ 值。

[0048] 在控制程序中可以设定第三加热段3出口的第三目标板温设定值 $T_{3A}$ ,将第三板温计的检测值和第三目标板温设定值 $T_{3A}$ 进行比较,动态调整感应加热功率使第三加热段3的出口板温趋近第三目标板温设定值 $T_{3A}$ 。由此可以看出,这一设置方法相当于在初始功率的基础上增加了基于第三目标板温设定值 $T_{3A}$ 的动态补偿模块。为了方便对于此动态补偿模块的温度进行控制,需要实时了解板温情况,因此,可以在第三加热段3与第四加热段4之间设置至少两个第三板温计,至少一个第三板温计用于板温补偿,至少一个第三板温计用于板温监控。

[0049] 在本发明另一实施例中,所述第三加热段3的功率控制方法还可以为:设置第三加热段3的目标阻抗,根据目标阻抗和第三加热段3的运行阻抗的比较结果,调整第三加热段3的加热功率。具体地,跟踪第三加热段3中的第二感应加热机构的运行阻抗 $Z_2=U_2/I_2$ 。其中, $U_2$ 为第二感应加热机构的运行电压, $I_2$ 为第二感应加热机构的运行电流。由于带钢10在到达或接近居里温度 $T_c$ 时,会发生磁性转变,带钢10的阻抗会发生变化,因此可以利用这一物理特性,通过控制带钢10的阻抗进一步稳定出口板温。可以在控制程序中设定第二感应加热机构的目标阻抗 $Z_{2A}$ ,将运行阻抗 $Z_2$ 和目标阻抗 $Z_{2A}$ 进行比较,动态调整感应加热功率使运行阻抗 $Z_2$ 趋近目标阻抗 $Z_{2A}$ ,即在初始功率的基础上增加基于目标阻抗 $Z_{2A}$ 的动态补偿模块。在实

际生产过程中,目标阻抗Z<sub>2A</sub>综合感应加热理论和工艺要求加以确定,并需要考虑带钢10宽度的影响。

[0050] 下面可以结合几个实施例来具体说明本发明实施例的效果。

[0051] 实施方式一

[0052] 将化学元素重量百分含量为:C:0.035~0.120%,Si:2.9~4.5%,Mn:0.05~0.20%,P:0.005~0.050%,S:0.005~0.012%,Als:0.015~0.035%,N:0.001~0.010%,Cr:0.05~0.30%,Sn:0.005~0.200%,V: $\leqslant$ 0.0100%,Ti: $\leqslant$ 0.0100%的板坯按照下列步骤制造:将板坯于1150°C加热后热轧至厚度为2.3mm的热轧板;常化退火;冷轧到目标厚度,其中,冷轧厚度为0.29mm;清洗冷轧带钢表面,除去轧制油和铁分;脱碳退火机组分别采用传统辐射管、中国专利(CN101652485A)和本发明实施例的退火设备进行脱碳退火;渗氮处理;在钢板上进行MgO涂层后在气氛为100%H<sub>2</sub>、温度为1200°C的条件下进行20小时的高温退火;涂敷绝缘涂层以及热拉伸平整退火后得到取向硅钢成品。

[0053] 检测不同试验条件下的脱碳退火机组吨钢能耗和带钢的脱碳效果,可以制成表1。其中,比较例1-2对应传统辐射管的试验数据,比较例3-5对应中国专利(CN101652485A)的试验数据,实施例1-5对应本发明实施例的试验数据。

[0054] 表1不同试验条件下的试验数据对比表

	机组速度 (m/min)	第1加热段出口 板温 T1(°C)	脱碳后的碳含量 (ppm)	吨钢能耗下降 率(%)
比较例 1	90	-	<30	基准能耗
比较例 2	95	-	48	下降 4.7%
比较例 3	90	600	<30	下降 4.0%
比较例 4	90	550	41	下降 4.9%
比较例 5	95	600	33	下降 8.2%
实施例 1	90	550	<30	下降 4.7%
实施例 2	90	500	<30	下降 6.1%
实施例 3	90	400	<30	下降 7.6%
实施例 4	95	520	<30	下降 10.6%
实施例 5	98	540	<30	下降 12.5%

[0055] [0056] 根据表1,可以以比例较1的吨钢能耗为基准进行能耗对比。比较例1与比较例2都采用传统辐射管加热方式。比较例1的机组速度为90m/min,为基准能耗。比较例2的机组速度提高至95m/min,吨钢能耗下降4.7%,但脱碳效果不佳,脱碳后的碳含量为48ppm。

[0057] 比较例3~比较例5都采用中国专利(CN101652485A)中公开的三段式加热方式。比较例3的机组速度为90m/min,其第一加热段出口板温T1为600°C,吨钢能耗下降4.0%;比较例4的机组速度为90m/min,其第一加热段出口板温T1为550°C,吨钢能耗下降4.9%,但由于快速升温起始温度过低,受制于一台感应加热装置的工作能力,快速升温结束温度偏低,进而导致脱碳效果不佳,脱碳后的碳含量为41ppm;比较例5的机组速度为95m/min,其第一加热段出口板温为600°C,吨钢能耗下降8.2%,同样受制于一台感应加热装置的能力,脱碳后的碳含量仍相对较高,为33ppm。

[0058] 实施例1~实施例3的机组速度都为90m/min,其第一加热段出口板温分别为550

℃,500℃和400℃,吨钢能耗分别下降4.7%,6.1%和7.6%,脱碳后的碳含量满足<30ppm的要求。实施例4的机组速度为95m/min,其第一加热段出口板温为520℃,吨钢能耗下降10.6%;实施例5的机组速度为98m/min,快速升温起始温度为540℃,吨钢能耗下降12.1%,比较例9和比较例10的脱碳后的碳含量都满足工艺要求。可见,在相同条件下,发明例技术方案的吨钢能耗有明显下降。

[0059] 实施方式二

[0060] 本实施方式二采用与实施方式一相同的制造步骤,并使冷轧厚度为0.29mm。脱碳退火机组采用本发明实施例的快速加热冷轧带钢的装置,脱碳退火机组速度为90m/min。在第一加热段与第二加热段之间设置有一个多波长的第一板温计,在第二加热段与第三加热段之间设置有一个多波长的第二板温计,在第三加热段与第四加热段之间设置有两个多波长的第三板温计。其中,表2统计了不同感应加热功率控制方式下的板温情况。

[0061] 表2不同感应加热功率控制方式下的板温情况统计表

	第一加热段出口板温均值(℃)	第一加热段出口板温均方差(℃)	第二加热段出口板温均值(℃)	第二加热段出口板温均方差(℃)	第三加热段出口板温均值(℃)	第三加热段出口板温均方差(℃)	表面缺陷发生率(%)	
[0062]	比较例6	500.1	5.5	585.8	6.8	719.3	5.1	6.0%
	实施例6	500.3	5.1	585.0	0.08	729.8	1.3	1.5%
	实施例7	500.5	5.7	585.0	0.08	730.5	1.0	<0.5%
	实施例8	499.8	5.8	585.0	0.08	733.1	0.6	<0.5%

[0063] 其中,比较例6的第一感应加热机构和第二感应加热机构都采用初始功率模式,其中第一感应加热机构的初始功率为150KW,第二感应加热机构的初始功率为430KW。第一加热段的出口板温均值为500.1℃,均方差为5.5℃;第二加热段的出口板温均值为585.8℃,均方差为6.8℃;第三加热段的出口板温均值为719.3℃,板温均方差为5.1℃,成品表面缺陷发生率为6.0%。

[0064] 实施例6的第一感应加热机构采用板温反馈功率控制模式,第二感应加热机构采用初始功率模式。第一加热段的出口板温均值为500.3℃,均方差为5.1℃,与比较例6相差不多。与比较例6相比,由于第二加热段采用板温反馈控制,其出口板温均方差缩小至0.08℃。由于第二加热段出口板温稳定性提高,因此通过增加第二感应加热机构的初始功率,使第三加热段的出口板温波动也相应缩小,出口板温均值为729.8℃,均方差为1.3℃,出口板温均值更加接近带钢的目标居里温度,成品表面缺陷发生率下降至1.5%。

[0065] 实施例7中的第一感应加热机构采用板温反馈功率控制方式,第二感应加热机构采用板温补偿功率控制方式,在第三加热段与第四加热段之间的一个第三板温计用于板温补偿,一个第三板温计用于板温监控,第三目标板温设定值T<sub>3A</sub>设定为733℃。相比实施例6,第三加热段的出口板温波动进一步缩小,监控用板温计显示第三加热段的出口板温均值为730.5℃,均方差为1.0℃,成品表面缺陷发生率下降至<0.5%。

[0066] 实施例8中,第一感应加热机构采用板温反馈功率控制方式,第二感应加热机构采

用阻抗补偿功率控制方式,目标阻抗 $Z_{2A}$ 设定为1.6。与实施例7类似,第三加热段的出口板温控制精度较高,出口板温均值为733.1℃,均方差为0.6℃,成品表面缺陷发生率下降至<0.5%。

[0067] 可见,与比较例6相比,实施例6~实施例8中的第二加热段的出口板温与第三加热段的出口板温的控制精度均有明显提升,成品表面缺陷发生率也明显下降。

### [0068] 实施方式三

[0069] 本实施方式三采用与实施方式一相同的制造步骤,但对第二加热段和第三加热段的控制方式进行改变。其中,比较例7和比较例8采用传统辐射管加热方式,比较例9~比较例11都采用中国专利(CN101652485A)的退火设备的加热方式。实施例9~比较例13中采用本发明实施例的快速加热冷轧带钢的装置进行加热,并且设置第一感应加热机构采用板温反馈功率控制方式,第二感应加热机构采用阻抗补偿功率控制方式。通过采集上述试验的试验数据,获得表3。

[0070] 表3不同试验条件和加热功率控制方式下的试验数据对比表

	冷 轧 厚 度 (mm)	机 组 速 度 (m/min)	第 一 加 热 段 出 口 板 温(℃)	第 二 加 热 段 出 口 板 温(℃)	第 三 加 热 段 出 口 板 温(℃)	脱 碳 后 的 碳 含 量 (ppm)	磁 感 B <sub>8</sub> (T)	铁 损 P <sub>17/50</sub> (W/kg)	表 面 缺 陷 发 生 率 (%)	
[0071]	比较例 7	0.29	90	-	-	-	<30	1.916	0.974	6.0%
	比较例 8	0.29	95	-	-	-	48	1.865	1.123	10.5%
	比较例 9	0.29	90	590~610	723~733	-	<30	1.918	0.968	1.5%
	比较例 10	0.29	95	610~630	725~735	-	39	1.905	0.996	2.4%
	比较例 11	0.35	80	640~660	716~728	-	43	1.884	1.123	3.7%
[0072]	实施例 9	0.22	110	530~550	599~601	730~736	<30	1.932	0.837	<0.5%
	实施例 10	0.29	90	490~510	599~601	730~736	<30	1.935	0.942	<0.5%
	实施例 11	0.29	95	510~530	609~611	730~736	<30	1.938	0.947	<0.5%
	实施例 12	0.29	98	530~540	619~621	730~736	<30	1.928	0.953	<0.5%
	实施例 13	0.35	80	570~590	659~661	727~733	<30	1.927	1.097	<0.5%

[0073] 由表3中可见,比较例7的冷轧厚度为0.29mm,机组速度为90m/min,脱碳后的碳含量满足<30ppm工艺要求,获得的成品磁感B<sub>8</sub>为1.916T,铁损P<sub>17/50</sub>为0.974W/Kg,表面缺陷发生率为6.0%。比较例8的机组速度为95m/min,因机组速度提高脱碳时间减少导致脱碳效果差,脱碳后的碳含量为48ppm,获得的成品磁感B<sub>8</sub>为1.865T,铁损P<sub>17/50</sub>为1.123W/Kg,表面缺陷发生率为10.5%。

[0074] 比较例9的冷轧厚度为0.29mm,机组速度为90m/min,第一加热段的出口板温介于590~610℃,第二加热段的出口板温介于723~733℃之间,冷轧板脱碳后的碳含量满足<30ppm工艺要求,获得的成品磁感B<sub>8</sub>为1.918T,铁损P<sub>17/50</sub>为0.968W/Kg,表面缺陷发生率为1.5%。比较例10的冷轧厚度为0.29mm,机组速度为95m/min,第一加热段的出口板温介于610~630℃,第二加热段的出口板温介于725~735℃之间,冷轧板脱碳后的碳含量为39ppm,获得的成品磁感B<sub>8</sub>为1.905T,铁损P<sub>17/50</sub>为0.996W/Kg,表面缺陷发生率为2.4%。比较例11的冷轧厚度为0.35mm,机组速度为80m/min,第一加热段的出口板温介于640~660℃,第二加热段的出口板温介于716~728℃之间,脱碳后的碳含量为43ppm,获得的成品磁感B<sub>8</sub>

为1.884T,铁损 $P_{17/50}$ 为1.123W/Kg,表面缺陷发生率为3.7%。

[0075] 实施例9的冷轧厚度为0.22mm,机组速度为110m/min,第一加热段的出口板温介于530~550℃,第二加热段的出口板温控制在599~601℃,第三加热段的出口板温介于730~736℃,脱碳后的碳含量满足<30ppm工艺要求,获得的成品磁感B<sub>8</sub>为1.932T,铁损 $P_{17/50}$ 为0.837W/Kg,表面缺陷发生率<0.5%。

[0076] 实施例10的冷轧厚度为0.29mm,机组速度为90m/min,第一加热段的出口板温介于490~510℃,第二加热段的出口板温控制在599~601℃,第三加热段的出口板温介于730~736℃,脱碳后的碳含量满足<30ppm工艺要求,获得的成品磁感B<sub>8</sub>为1.935T,铁损 $P_{17/50}$ 为0.942W/Kg,表面缺陷发生率<0.5%。

[0077] 相比实施例10,实施例11的机组速度提高至95m/min,第一加热段的出口板温介于510~530℃,第二加热段的出口板温控制在609~611℃,第三加热段的出口板温介于730~736℃,脱碳后的碳含量满足<30ppm工艺要求,获得的成品磁感B<sub>8</sub>为1.938T,铁损 $P_{17/50}$ 为0.947W/Kg,表面缺陷发生率<0.5%。

[0078] 相比实施例11,实施例12的机组速度进一步提高至98m/min,第一加热段的出口板温为530~550℃,第二加热段的出口板温控制在619~621℃,第三加热段的出口板温介于730~736℃,脱碳后的碳含量满足<30ppm工艺要求,获得的成品磁感B<sub>8</sub>为1.928T,铁损 $P_{17/50}$ 为0.953W/Kg,表面缺陷发生率<0.5%。

[0079] 实施例13的冷轧厚度为0.35mm,机组速度为80m/min,第一加热段的出口板温介于570~590℃,第二加热段的出口板温控制在659~661℃,第三加热段的出口板温介于727~733℃,脱碳后的碳含量满足<30ppm工艺要求,获得的成品磁感B<sub>8</sub>为1.927T,铁损 $P_{17/50}$ 为1.097W/Kg,表面缺陷发生率<0.5%。

[0080] 可见,相比现有技术,本发明实施例的工艺设置灵活,成品磁性能优异,表面缺陷发生率低,且机组速度可以进一步提高,从而可以提升生产效率。

[0081] 综上所述,本发明实施例提供的快速加热冷轧带钢的装置与方法,能够充分利用高频感应加热升温速度快的特点,并且采用板温分段控制方式,使加热制度得到严格执行,可以有效克服带钢表面状态波动与加热工况波动的影响,板温控制精度高,成品磁性能与表面质量更为优异。另外,本发明实施例可以非常方便地选择各加热段目标板温,通过采用分段式加热速率进行升温,也可以增强工艺设定的灵活性以及使产品规格的适应性。并且本发明实施例提供的快速加热冷轧带钢的装置与方法,不仅适用于快速加热质量分数4.5%以下Si含量的取向硅钢冷轧带钢,还适用于任何一种具有居里点的冷轧带钢,例如含有质量分数18%以下Cr含量的铁素体系不锈钢或马氏体系不锈钢。

[0082] 以上,仅为本发明的示意性描述,本领域技术人员应该知道,在不偏离本发明的工作原理的基础上,可以对本发明作出多种改进,这均属于本发明的保护范围。

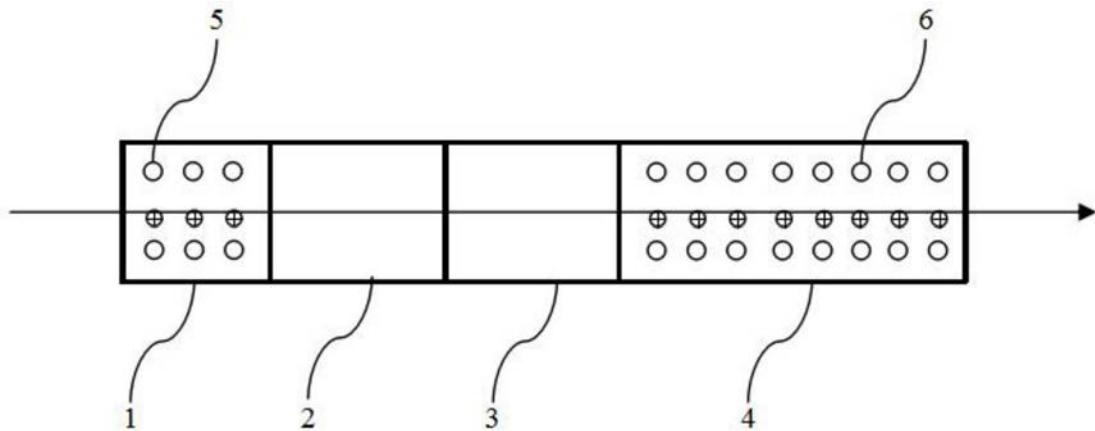


图1

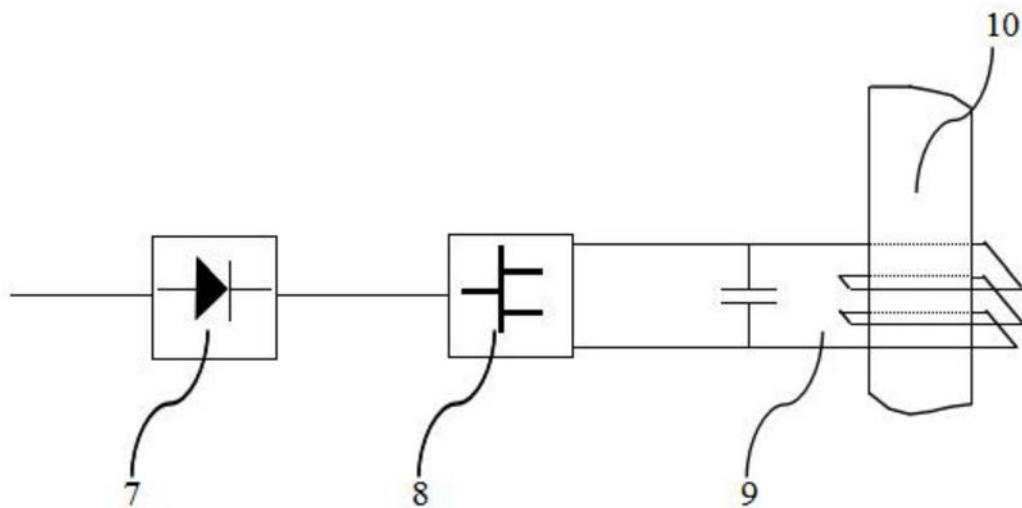


图2