

# 微波加热在钛带冷轧酸洗中的应用

王红坡<sup>1,2</sup>, 彭金辉<sup>1,2</sup>, 郭胜惠<sup>1,2</sup>, 张世敏<sup>1,2</sup>, 杨彪<sup>2</sup>, 李英伟<sup>1,2</sup>, 刘建华<sup>1,2</sup>

(1. 昆明理工大学冶金与能源工程学院, 云南 昆明 650093;

2. 昆明理工大学非常规冶金省部共建教育部重点实验室, 云南 昆明 650093)

**摘要:** 阐述了传统加热方式在钛带冷轧酸洗中的应用及其存在的问题, 并分析了微波加热酸洗液的原理和技术特点, 利用一种新型的微波加热设备, 提出一种利用微波加热钛带冷轧酸洗液的新技术, 通过中试实验证明新技术是有效合理的。并展望了微波加热技术在钢铁及有色金属行业冷轧酸洗工艺加热中的应用前景。

**关键词:** 微波加热; 酸洗; 钛带冷轧

**中图分类号:** TM924.76; TQ028.677

**文献标识码:** A

**文章编号:** 0253-4320(2011)02-0071-03

## Application of microwave heating in acid cleaning of titanium belt cold rolling

WANG Hong-po<sup>1,2</sup>, PENG Jin-hui<sup>1,2</sup>, GUO Sheng-hui<sup>1,2</sup>, ZHANG Shi-min<sup>1,2</sup>,

YANG Biao<sup>2</sup>, LI Ying-wei<sup>1,2</sup>, LIU Jian-hua<sup>1,2</sup>

(1. Faculty of Metallurgical and Energy Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093, China; 2. Key Laboratory of Unconventional Metallurgy, National Ministry of Education, Kunming 650093, China)

**Abstract:** The application of conventional heating method to the acid cleaning of titanium belt cold rolling and the existing problems in it are described. The principles and technical characteristics of microwave heating in the acid wash are analyzed. Moreover, using a new type of microwave heating equipment, a new manufacturing technology of microwave heating in the acid wash of titanium belt is demonstrated. The result of medium of experiments shows that the new technology is effective and reasonable. Prospective application of microwave heating to the acid cleaning of steel and non-ferrous metals cold rolling is expected.

**Key words:** microwave heating; acid cleaning; titanium belt cold rolling

在钛带冷轧制生产工艺中, 酸洗是必须的重要的工序, 酸洗的主要作用是把热轧厂来的钛带表面氧化层及污垢去掉, 得到表面清洁的钛带, 避免轧制时产生缺陷<sup>[1-2]</sup>。氧化层是通过钛带进入酸洗槽后与酸液发生化学反应而被除去, 但由于化学反应是需要一定温度下进行活化的, 温度太低, 反应就慢, 除锈效果就差, 温度过高, 就造成过酸洗, 不能满足生产要求; 因此, 为保证最佳酸洗效果, 就要不断对酸液进行加热, 使其满足除锈反应的温度需要, 并保持酸在一定温度范围内<sup>[3]</sup>。

传统酸洗工艺采用石墨换热器来实现对酸液的加热, 生产时, 锅炉产生高温水蒸气通过石墨换热器将热量传递给酸液; 不过在生产应用中, 石墨换热器存在加热效率低、操作麻烦、锅炉燃烧造成环境污染、碳排放过高等重大弊端<sup>[4-5]</sup>。

采用微波加热方式对酸液进行加热, 改变了酸液的受热方式, 从根本上解决传统工艺中出现的问题。与传统加热相比, 微波加热具有选择性加热、升温速率快、加热效率高、易于实现自动控

制等优点。

## 1 传统加热方式的应用及其存在的问题

### 1.1 应用

传统生产工艺中, 通过酸泵从循环罐中将酸液抽出, 泵入石墨换热器, 酸液经石墨换热器加热后进入酸洗槽对钛带进行酸洗, 酸洗槽中多余的酸液则流回到循环罐, 形成1个闭路循环, 由于这一过程是连续进行的, 故实现了石墨换热器对酸液的加热。

石墨换热器是依据石墨耐酸腐蚀又具有良好热传导性而工作的, 石墨芯体通常做成垂直和水平互相分隔开的块孔式结构, 当2种介质彼此通过时, 高温介质不断地把热量传递给石墨换热器, 低温介质不断从换热器得到热量, 从而实现了热交换。在钛带冷轧酸洗工艺中, 高温介质是锅炉提供的饱和水蒸气, 低温介质则是酸液。

### 1.2 存在的问题

(1) 石墨换热器。石墨换热器中的石墨抗冲击较低, 因此在运输、安装与具体作业时, 容易产生

收稿日期: 2010-10-11

作者简介: 王红坡(1981-), 男, 硕士生, 主要从事冶金工程与微波能应用方面的研究; 彭金辉(1964-), 男, 博士, 教授, 研究方向为冶金新技术、资源综合利用、微波加热在冶金与材料制备中的应用, 通讯联系人, 0871-5191046, jhpeng@kmust.edu.cn。

损坏,且需经常进行维护;严重损坏时石墨换热器会破裂,如果是进酸时石墨管破裂,要破真空、降温、放酸、进水试漏才能发现破裂的石墨管,既浪费原料,又占用了开机时间,大大降低了生产能力<sup>[6]</sup>。

(2) 锅炉。一般情况下,工厂使用燃煤作为锅炉燃料。煤燃烧产生的烟气中含有大量烟尘、硫和氮的氧化物等有害物质,以及锅炉产生的噪音污染及水污染等,严重危害环境和人类健康,而且锅炉日常维护费用较高;碳排放过高,随着地球变暖,温室效应加剧,过高的碳排放将降低产品竞争力,严重阻碍长远发展。

(3) 换热效率。热量经燃料燃烧,由锅炉产生高温水蒸气,经管道传输后,通过石墨换热器换热给酸洗液,经过多次热传递后,热量利用率非常低,造成生产成本过高和能源的极大浪费。

## 2 微波加热酸洗液的基本原理与特点

### 2.1 基本原理

微波是一种电磁能量,微波加热过程就是将微波能转换成物质内能的过程。微波加热的原理是通过介质吸收微波后,内部的偶极分子做高频往复运动产生“内摩擦热”,从而使被加热介质温度升高。众所周知,水分子是典型的极性分子共价键结构,是微波的良好吸收体<sup>[7-8]</sup>。钛带冷轧酸洗工艺段主要包括清洗段、酸洗段和漂洗段。其中酸洗段溶液是 HNO<sub>3</sub> 和 HF 的混合酸液,清洗段溶液是脱盐水,含一定浓度的 HNO<sub>3</sub> 和 HF 的混合酸液,漂洗段溶液是脱盐水。

### 2.2 微波加热酸洗液的特点

微波作为一种新型环保的清洁能源,在加热酸洗液时,与传统加热方式采用的换热方式相比具有如下特点<sup>[9-11]</sup>:

(1) 加热均匀、速度快。传统加热方式通过热传导将热量从外部逐步传递到物体内部,其过程不可避免存在传热阻力,导致传热速率慢,加热时间长,传热不均匀,损耗大;而微波加热时溶液内部通过分子运动产生热,因此加热均匀,加热速度快。

(2) 加热效率高。传统加热方式通过燃料煤加热锅炉产生饱和水蒸气,利用石墨换热器将热量传递到酸洗液,热量层层传递后,利用率非常低,造成加热效率低;微波加热方式直接对酸洗液进行加热,没有能量传递环节,能量利用率高,加热效率高。

(3) 设备少、易于控制。采用微波加热方式,省去锅炉、石墨换热器以及相关设备,占地面积少,设

备安装和加工方便,而且微波加热可以快速启动和停止,操作方便,易于控制,设备维护也比传统加热方式更为方便、简单。

(4) 绿色制造。微波作为一种新型的安全清洁能源,在低碳经济下,对于企业节能减排,甚至零碳排放,实现绿色制造,提高产品竞争力,具有重要意义。

## 3 微波加热设备、工艺及中试实验

### 3.1 微波加热设备

酸洗作为钛带冷轧生产的第 1 道工序,酸洗温度决定了酸洗效果的好坏,直接关系到后续深加工工艺的质量和冷轧厂的效益。采用微波加热方式,利用微波响应快、控制方便,可以快速启动和停止的特点,昆明理工大学微波应用研究所研制了一种新型的微波加热钛带冷轧酸洗液的装置,以及与之相配套的控制柜、操作台和冷却系统。该装置主要结构为腔体、微波发生器、温度传感器、加热管等,微波加热装置示意图见图 1。其中腔体设计为七面体结构,微波发生器呈环状布置在腔体的 7 个面上,微波发生器的数量决定微波加热装置的最大功率,加热管选用 PPH 材质,置于微波加热装置腔体内,温度传感器分别设在加热管的输入端和输出端内。该装置采用 PLC 控制,对钛带冷轧酸洗液进行直接加热,自动控制电路根据温度传感器的输出信号可自动控制微波加热功率的大小,即可方便地控制酸洗液的加热温度。

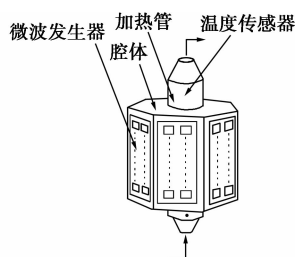
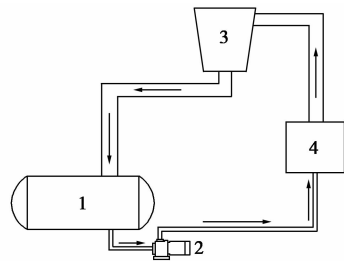


图 1 微波加热装置示意图

### 3.2 微波加热钛带冷轧酸洗液的工艺流程

根据以上所述的新型微波加热装置,结合钛带冷轧酸洗液的加热特点,优化设计一种新的微波加热钛带冷轧酸洗液的工艺流程。工艺流程见图 2。

工艺流程工作时,开启酸泵,不断地将酸洗介质从循环罐中抽出,通过微波加热装置加热后流至酸洗槽,对酸洗槽内的钛带进行酸洗,酸洗槽内因有新的酸洗介质注入,多余的酸洗液会沿管道回流至循环罐,形成 1 个酸洗液的闭环回路。生产时钛带以



1—循环罐;2—酸泵;3—酸洗槽;4—微波加热设备

图2 微波加热钛带冷轧酸洗工艺流程示意图

一定速度通过酸洗槽进行酸洗,钛带在酸洗槽进行酸洗工艺时带走酸液一部分热量,加上酸液在管道、循环罐和酸洗槽散失的热量,需要补充这部分热量以维持酸洗液的工作温度。这时自动控制电路根据温度传感器的输出信号控制微波加热功率的大小,使得加热后的酸洗液温度始终满足酸洗生产需要。这样,通过微波加热设备的加热,酸洗液在闭环回路中形成升温-降温-升温的循环。

### 3.3 微波加热钛带冷轧酸洗液的中试化实验

根据以上所述的新型微波加热装置及新的工艺流程,进行微波加热钛带冷轧酸洗液的中试实验。实验条件:微波功率 63 kW,质量分数 10% 的  $\text{HNO}_3$  和 HF 混合酸液体积  $6 \text{ m}^3$ 。得到酸液的升温曲线如图 3 所示。

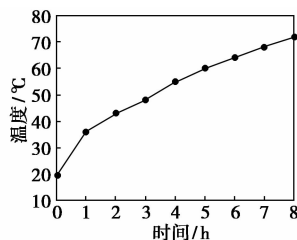


图3 微波加热  $\text{HNO}_3$  和 HF 的混合酸液的升温曲线

通过图 3 所示升温曲线可以发现,以上所设计的新微波加热装置和新的工艺流程,可快速加热钛带冷轧酸洗液,温度达到满足酸洗工艺生产要求,从而完成钛带的酸洗工艺,控制简单方便,加热效率较高。

## 4 微波加热钛带冷轧酸洗液的应用前景

微波加热钛带冷轧酸洗液是一种完全不同于传统加热的加热方式,具有加热时间短、升温快、加热效率高、设备少、占地面积小、控制方便简捷、检护方便、清洁环保、节能减排等特点。结合新型微波加热装备所设计的新工艺流程,试验验证完全满足生产需要,自动化程度高,设计合理,技术先进,在钛带冷轧酸洗加热领域是一项推广价值极高的新技术新工艺。与此同时,此项技术的研制成功也为微波能的应用开辟了 1 个更为广阔的领域。通过对微波加热设备的优化设计,微波加热方式可推广应用到钢铁板带以及其他有色金属板带的酸洗工艺加热中,充分发挥其便捷、高效、节能环保的优势,尤其在低碳经济形势下,对于实现节能减排,提高产品竞争力,具有重要的意义。

### 参考文献

- [1] 傅作宝. 冷轧薄钢板生产[M]. 北京:冶金工业出版社,2006.
- [2] 魏天斌. 热轧氧化铁皮的成因及去除方法[J]. 钢铁研究,2003(4):54-58.
- [3] 王海燕,梁振威. 酸洗工艺段优化改造分析[J]. 河北冶金,2007,47(4):47-50.
- [4] 朱占涛. 石墨换热器在酸洗上的应用[J]. 河北冶金,2001,52(2):52-53.
- [5] 刘福仁. 我国锅炉现状及存在的问题[J]. 北京市计划劳动管理干部学院学报,2005,13(3):42-45.
- [6] 吴又陵. 磷酸浓缩用石墨换热器的操作、清洗、检修[J]. 化工设备设计,1999,36(6):44-46.
- [7] 彭金辉,杨显万. 微波能技术新应用[M]. 云南:云南科技出版社,1997.
- [8] 王绍林. 微波加热原理及其应用[J]. 物理,1996,26(4):232-237.
- [9] Haque K E, Kondos P D, Macdonal R J C. Microwave activation of carbon: US,2008242[P]. 2000.
- [10] Peng J H. Manufacturing of activated carbon with  $\text{ZnCl}_2$  by microwave radiation[M]. Karlsruhe: The Second European Workshop on Microwave Processing, 1997.
- [11] Thostenson E T, Chou T W. Microwave proceeding of fundamental and application composites: Part A[J]. Applied Science and Manufacturing, 1999, 30(9): 1055-1071. ■

### 《现代化工》“海外纵横”栏目征稿启事

《现代化工》“海外纵横”主要介绍国外某一国家或地区热点科研领域的开发应用状况、开发方向,或某一行业的发展现状、发展方向和问题探讨,以及有突出表现的国外公司的科研动态和研发经验等。

有意投稿的作者,请与“海外纵横”栏目编辑童志勇联系,以确定合适的主题和格式。联系电话:010-64444105-839, e-mail: tongzy@cheminfo.gov.cn。(本刊编辑部)