

12-14, 62

1997年5月
May 1997钢铁研究
Research on Iron & Steel第3期(总第96期)
No. 3 (Sum96)

兆瓦级冶金用等离子体加热器

7F19

张平 毛心桥 黄乔林

郭文康[✓]

郭茂怀

(中国科学院等离子体物理研究所) (复旦大学) (首钢工学院)

摘要 描述了首次将等离子体阴极概念运用到大功率直流大弧流空心阴极等离子体炬的实验结果。用重 500g, 掺 2% 氧化钇, 表面积为 6cm^2 的钨阴极, 实现了 2~3kA 稳定的扩散型阴极弧根放电, 在空气中弧长为 100~200mm, 弧压 100~200V, 弧电压波动小于 5%。

关键词 冶金 等离子体 加热器 兆瓦级

PLASMA HEATER IN MEGAWATT FOR METALLURGICAL APPLICATION

Zhang Ping Mao Xinqiao Huang Qiaolin

(Plasma Physical Research Institute in Academy of Science of China)

Guo Wenkang

E Maohuai

(Fudan University) (Engineering College of Capital Iron & Steel Company)

Synopsis This paper describes the experimental results of which the concept of plasma cathode is initially applied to the solid cathode plasma torch of heavy power DC arc. Using a 500g tungsten cathode of surface area 6cm^2 mixed with 2% yttrium-oxide, the stable and diffusing discharge 2~3kA on cathode arc root can be realized with arc length in air 100~200mm, arc voltage 100~200V and arc voltage fluctuation less than 5%.

Keywords metallurgy plasma heater in megawatt

1 前言

由于等离子体加热器体积小, 加热效率高, 放电稳定, 对电网没有冲击, 几乎没有电极消耗, 性能远远优于当前在冶金领域中广泛应用的碳电极电弧加热器, 因此, 它在冶金领域的应用越来越受到重视。

目前最成功的应用是连铸中间包温度控制。通常连铸的过程较长, 钢水温度的变化较大, 这对钢坯的质量、连铸拉坯速度都有很大影响。特别是许多合金钢, 其允许的钢水温度

波动范围较小, 因此这类钢连铸时对钢水的温度控制更是必不可少。在连铸系统中, 中间包直接位于结晶器前面, 其容量较小, 在中间包上增加钢水加热手段对钢水温度进行调控, 是最经济、最有效的。但由于中间包较小, 一般的加热手段很难被采用。体积小, 加热集中的等离子体加热器, 是中间包加热的最佳选择。在 80 年代后期, 美国、日本、德国等工业发达国家, 先后开始用等离子体炬进行中间包温度控制, 获得很大的成功, 取得了巨大的经济效益。从此以后, 这项术在连铸中迅速

联系人: 张平, 高级工程师, 合肥市(230031), 中国科学院等离子体物理研究所

得到推广。我国冶金界就注意到了此项新技术的发展,但由于进口兆瓦级等离子体加热器价格十分昂贵,大多数钢厂难以承受。为此,开发国产兆瓦级冶金用等离子体加热器势在必行。目前国内已有一些单位从事这方面的开发工作,取得了一定的进展,但距离制造技术成熟,真正能用于工业生产的成套设备,还有相当的距离。

在以液态钢水为加热对象时,低气流量,实心阴极等离子体加热器的加热效率和经济性,可能较管式加热器要高。但由于这类加热器的弧电压较低,要获得大的加热功率,势必要提高加热器弧电流。目前这类兆瓦级加热器的弧电流,都在5000A以上,有的甚至超过10000A。因此,阴极损耗问题,就成为发展高功率的等离子体加热器的主要技术难关。

为了攻克这一技术难关,中国科学院等离子体物理研究所和俄罗斯科学院热物理研究所签订了联合开发兆瓦级冶金用等离子体加热器的协议。俄方科学家提供了本兆瓦级等离子体炬的原始设计,并参加了第一轮实验。等离子体所等离子体炬实验室作了等离子体炬的工程设计,完成了整个实验系统的准备。

2 等离子体阴极

高压电弧放电中,阴极的工作模式可粗略分为热阴极扩散型弧根模式和收缩型弧根模式。两种工作模式阴极的损耗率可以差几个量级。收缩型弧根的阴极损耗率在 $\mu\text{g}/\text{c}$ 量级,而扩散型热阴极的电极损耗率为 $10^{[-2]} \sim 10^{[-3]} \mu\text{g}/\text{c}^{[1]}$ 。迄今为止,大功率等离子体加热器的阴极,基本上都采取收缩型弧根模式,

其阴极损耗率很高。为了满足工业应用中百小时量级的阴极寿命要求,以往采用的主要办法是增大阴极体积并设法让弧根在阴极表面大范围内无规则运动,以实现均匀烧蚀。阴极弧根落在阴极表面上哪一点,与该点表面的状态关系十分密切。例如已被烧融的区域,阴极弧根落在其上面的几率,要比落在完好表面的几率大得多。因此,在阴极表面上往往会出现严重烧蚀区,很难实现均匀烧蚀。

等离子体阴极,是指在阴极表面覆盖一层温度较高的等离子体。在管状阴极的实验中曾观察到,阴极表面存在一层高温等离子体时,其阴极的损耗率下降了二到三个量级^[2]。其可能的原因:第一是阴极表面高温等离子体的存在,减少了电弧在阴极区电离和加热工作气体所消耗的功率,因此阴极区的电流密度可以大大下降。第二是高温等离子体预热了较大面积的阴极表面,使它们都具有较高的电子发射能力。这样,弧电流在阴极区收缩的几率大大下降,这有利于形成扩散型阴极弧根。

3 等离子体炬

等离子体炬主要由三部分组成:阴极、喷口、阴极等离子体发生器。阴极为掺2%氧化钇的钨,重量500g,放电表面积约为 6cm^2 。喷口为紫铜水冷结构。阴极等离子体发生器能在阴极放电表面形成高温等离子体,其功率在几十千瓦量级。等离子体炬的主要参数见表1。

4 兆瓦级等离子体加热器实验系统

电源分为主电源和辅助电源两部分。主电源是加热器的主电弧电源,它是具有电流、

表1 等离子体炬的主要参数

型 式	等离子体 炬功率 (MW)	电热转 换效率 (%)	弧电流 变化范围 (kA)	弧长 (mm)	工作 气体 气体 (Nm ³ /h)	阴极 重量 (g)	阴极 材料	阴极 寿命 (h)	冷却水 流 量 (m ³ /h)
实心阴极转移弧	15	>95	2~6	100~300	氩气 6~8	W+2%Y ₂ O ₃	500	≥100	10

电压负反馈的 12 相低纹波直流电源,空载电压在 260~350V 之间可调,输出电流的最大值为 7000A,输出端有平衡、滤波电抗器以及一个 10M Ω 的限流电阻。

辅助电源暂用等离子体炬实验室 400A 空气等离子体切割机产品的电源,该电源是具有电流、电压负反馈的可控硅三相全控桥直流电源,空载电压 420V,最大输出电流 500A。

水冷石墨模头阳极和水冷加热室。水冷系统——等离子体炬用自来水冷却,冷却水流量为 7t/h,阳极和水冷和加热室用池水冷却,水流量 20t/h,该冷却系统可以带走 1.5 MW 的热功率。

供气系统——由钢瓶组,电磁阀,流量调节阀,浮子流量计等组成等离子体供气系统,工作气体为氩,纯度为 99.99%。

5 实验结果

(1) 击穿起弧过程。在起弧前阴极前存在一团等离子体,因此当等离子体炬处在氩气条件下,加上 250~270V 电压时,阴阳极距离在 100~200mm 时,等离子体炬就能自动起弧。但在空气中,上述情况下不能起弧,而需要通过高频或导电丝引弧。

弧电流上升时间在 5~10ms,这时弧流过冲量很小,大部分时间起弧很平稳,但起弧初期有时弧电流有较大振荡,电弧出现短暂的闪动现象,这种起弧状况属不正常状态。产生这种现象可能的原因有两个:第一是主弧电源在起弧时有较大的电压波动或电流分闸特性不好;第二是这种现象和阴极等离子体状态有关,起始时刻主弧的阴极弧根在阴极表面跳动。这种电弧闪动的起始状态应该避免。

(2) 在空气中,弧长为 100mm 时的伏安特性曲线见图 1。

在空气中,弧电流为 2000~3500A,弧长在 100~200mm 范围内时,弧柱挺直稳定,

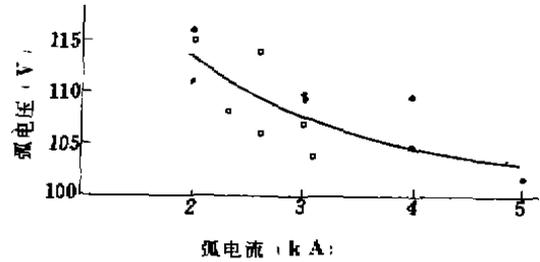


图 1 弧长为 100mm 的伏安特性曲线

无闪动现象。预计在电弧更长的情况下,也不会出现大范围的不稳定性。

等离子体炬的阴极、喷口在放电中由冷却水带走的热量:当弧电流为 2000A 时,阴极发热功率为 6.6kW,喷口发热功率为 7.7kW;当弧流为 4000A 时,阴极发热功率为 9.5kW,喷口发热功率为 20kW。

等离子体加热器运行时,氩气消耗量为 6~8Nm³/h。

由于弧光十分明亮,很难直接观察放电过程中的阴极弧根状态。但从下面几个实验现象分析,该等离子体炬在 2000~5000A 范围运行时,阴极弧根是扩散型弧根。

第一,从照相看,紧接喷口处弧柱直径已达 2.2cm,从喷口到阳极弧柱直径基本上不变,等离子体炬喷口和阴极距离只有十几毫米,因此阴极弧根不太可能呈严重的收缩状态。

第二,从弧电压示波图看,由于电弧引起的弧电压变化值几乎看不出,弧电压变化值和弧电压之比($\delta V_A/V_A$)不大于 5%。而一般在收缩型阴极弧根放电中, $\delta V_A/V_A$ 在 10%~100% 范围变化[1]。

第三,从燃过弧以后的阴极表面形态看,大部分区域均匀出现钨晶粒受热后增大的现象,而只有很少地方出现厚度约 10 μ m 的熔融区域,而这些区域的出现主要和阴极等离子体有关。

(下转第 62 页)

加压结晶法操作时间短,无须搅拌,容器小,结晶、发汗过程均匀进行,总能耗仅为常压低温结晶法的 1/10。

5 结 语

综上所述, C_8 芳烃混合物的分离技术,除传统的精密精馏法、常压低温结晶法等方法外,现已开发出多种新工艺,包括全蒸发过程中加四溴化碳分离间、对二甲苯,蒸馏冷冻分离等方法。其中精密精馏法由于能耗高,在国外已被逐渐淘汰。而加压结晶法则因能耗低,技术上易于实现而被世界各国采用,并有继续开发的潜力。

总之,混合二甲苯的分离技术仍然是世界上一个非常活跃的研究领域。

参 考 文 献

- 1 唐之社,间苯二甲酸的生产和消费现状及其前景,湖南化工,1992,(4):33.
- 2 管冬生译,以二甲苯为原料生产芳烃的科技进展,石油化工译丛,1989,(1):12.
- 3 姜华,王文燕,苯酐的生产及综合利用,化工时刊,1993,

(5):22.

- 4 陈守民,间二用苯树脂— C_8 综合利用的新途径,丘化科技,1989,(1):56.
- 5 宋智清,间二甲苯系列产品的开发和分离出高浓度间二甲苯的设想,湘潭化工,1989(1):10.
- 6 全伟力、王戴、欧阳福承, C_8 芳烃分离工艺的探讨,吉林化工学院学报,1989,(6):27.
- 7 车冠全、古喜兰、云遂存,间二甲苯十对二甲苯二元系的固液相平衡,化学通报,1995,(6):50.
- 8 陆承东,结晶法分离混合二甲苯中的对二甲苯,钢铁研究,1996,(3):42.
- 9 吕先、杨培明译,UOP 对二甲苯分离工艺的新发展,燕山油化科技情报,1990,(23):4.
- 10 詹正坤,用改性 ZSM-5 沸石分离 C_8 芳烃混合物,石油化工,1990,(7):433.
- 11 王奎、洪晓宇,从 C_8 芳烃中吸附分离乙苯的研究进展,金山油化纤,1988,(3):30.
- 12 叶绍湘译,全蒸发过程中加四溴化碳分离间、对二甲苯,湖南化工,1995,(1):56.
- 13 刘瑞兴,结晶法分离混合二甲苯,现代化工,1987,(7):54.
- 14 H. V. Hess, U. S. Patent, 2816938(1964).
- 15 邹盛欧,混合二甲苯分离新技术,金山油化纤,1989,(1):48.

(收稿日期 1996-12-04)

(上接第 14 页)

(3)最近,我们去掉喷嘴进行了实验,在 2000A 下形成了稳定的电弧。有待继续进行大电流的实验。

6 结 论

首次将等离子体阴极概念运用到 MW 级冶金用等离子体加热器上,从实验数据分析看,在面积为 6cm^2 的阴极表面,弧电流 2000~5000A,扩散型阴极弧根放电模式已经基本形成,这为解决今后大电流等离子体加热器阴极烧损问题找到了一个新的途径。

在实验中电弧挺直稳定,无明显闪动现象。在空气中弧长 200mm 时,放电仍旧很稳定。等离子体炬中消耗的热能只占总输出功率的 5%左右,氩气消耗量较低。实验中获得了在空气中的电弧伏安特性。

为了扩大该等离子体炬稳定工作的参数范围,对其工作过程的研究以及优化等离子体炬设计是必要的。

参加本项工作的还有翁坚、彭先会、刘福国、舒兴胜、徐国庆、杨长春和汤伦军等同志。

致谢 本工作得到等离子体所领导的大力支持,得到等离子体所三室陈敬林、刘智明等同志的热心帮助,使本课题研究工作得以顺利开展。

参 考 文 献

- 1 俄罗斯科学院热物理研究所 TIMOSHEVSKY 和 VASHENKO,与中国科学院等离子体物理研究所等离子体炬实验室技术交流纪要,1994.
- 2 Simone Anders, IEEE Tras, on Plasma Sci., Vol 19, No. 1, 1991.

(收稿日期 1996-09-18)