



等离子体技术在工程上的应用

曹天守

(华东冶金学院 马鞍山 243002)

等离子体(plasma)这个词于1929年由朗缪尔(Langmuir)引自生物学,用来描述带电粒子的集体行为. 作为一门独立的学科是从50年代开始的.

1952年,美国为了发展受控热核聚变反应堆,制定了一个神秘的雪伍德计划(Project Sherwood). 几乎是同时,英国、法国和前苏联也制定了类似的计划. 从此,等离子体物理学迅速发展,且不再局限于天体物理和理论物理的范围.

等离子体技术的应用虽然也起始于50年代,但形成规模是从70年代开始的. 特别是世界性能源危机,极大地推动了等离子体技术的工程应用.

一、等离子体及其特性

等离子体并不神秘,如日光灯就属于这一领域;作为工程应用,也无需过于艰深的物理原理和数学工具.

等离子体就是电离了的气态物质,被称为物质第四态. 除日光灯外,象闪电、极光、霓虹灯等都属于等离子体. 宇宙中的物质90%以上都属于第四态,而人类生活周围的固、液、气三态物质只占1%以下.

任何物质,只要加热到足够高的温度,就能电离成等离子体,它由离子、自由电子和中性原子组成. 引人注目的是它的奇特性质,如宏观电中性、与磁场的相互作用、流体性质、碰撞特性和群体行为. 最根本的特性是群体行为.

所谓群体行为,是指热运动的粒子若要偏离集体,则由于这个偏离将产生电场,使粒子被拉了回来. 例如,当等离子体密度 $n = 10^{20} \text{m}^{-3}$ 时(这比常态空气稀得多),考虑一个直径为1cm的球体区域,若有1%的电子移到球区之外,则由于电荷分布的不均匀性将产生64万伏

的电位差,这是不可思议的,也根本不可能发生,因为电子稍有偏离时,早就被它自己建立的电场拉回来了,就是说,等离子体有强烈的维护自己“组织”的能力,这种“集体主义”特性对于常态物质来说是难以想象的.

二、等离子体技术的设备

作为工业应用,我们最关心的是等离子体的热性质. 等离子体的温度很高,例如日光灯中的电子温度高达20000K,但不必担心烧坏管子,因为电子密度很小,就是说,热容量很小,就象烧红的绣花针掉在玻璃板上一样,一点事也没有. 如果能人为地制造密度较高的等离子体,那么,热容量就可观了,这就是等离子体发生器的基本思想所在.

等离子体发生器主要有以下几种类型:

热致电离发生器主要用于磁流体发电机的“燃烧室发电通道”,目前尚在研究之中.

高频感应发生器,用于难熔颗粒的加工,如金刚石薄膜,氮化硼微粉等,其主要优点是成分纯,缺点是能耗大,价格高.

激光电离发生器,用于热核反应.

电弧等离子体发生器——炬,它是工业应用最重要的设备,介绍如下.

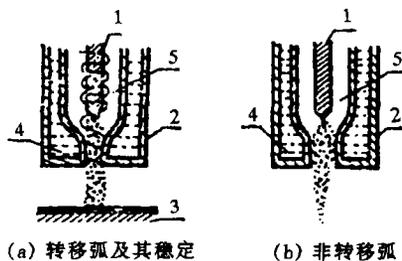


图1 转移弧和非转移弧

1. 阴极
2. 喷嘴
3. 被加工材料
4. 冷却水
5. 电极室

等离子炬也叫等离子枪,是一种电弧式的发生器。按电源频率分,有直流、交流和高频等几种;按电弧形成方式分,有转移弧型和非转移弧型之别,如图1所示。

电弧等离子炬与通常的弧焊机、氧乙炔焊枪有本质区别。电弧等离子炬是靠稳定的、可约束的、电流密度大且能连续工作的等离子射流产生高温来对工件进行加工的。而弧焊机是由电极(焊条与工件)的高压来击穿空气产生电弧进行加热的,氧乙炔则是一种燃烧焰。电弧等离子炬通常配有附件,如控制电源、保护气氛和喷嘴护套等。

三、等离子体与冶金

1. 等离子体炼钢

等离子体炼钢即等离子体熔态还原工艺。主要用来冶炼耐热钢、耐腐蚀钢、高速钢和工具钢等。其优点是省电(比常规电弧炉节电30%左右)、添加合金回收率高、产品质量好。工作温度7000K左右,电流600—1400A,弧长100mm,氩气流量1—3g/s,电极不损耗,如图2所示。

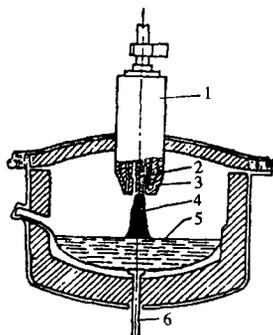


图2 等离子炉冶炼合金钢

1. 等离子枪 2. 阴极 3. 喷口
4. 弧 5. 熔池 6. 阳极

2. 等离子体直接炼铁

新工艺省去了焦化厂、炼铁厂、高炉和去硫装置,降低能耗,减少污染,比高炉炼铁的成本要低20%,初投资为原来的三分之一,而且,等离子体工艺可在原高炉上改造。瑞典的SKF公司还发展了生产海绵铁的等离子体工艺,年产200万吨。图3是新老工艺的对照示意图。

3. 其他冶金工艺

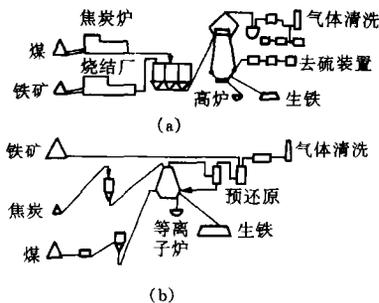


图3 等离子体工艺

(a) 等离子体工艺 (b) 流程比较示意图

除了上述工艺以外,等离子体技术在重熔、铁合金生产、退火、钢包加热和轧前表面处理等方面均有工业规模的应用实例,特别是在锅炉点火方面,节能效果极为显著。

四、等离子体与机械

等离子体在机械工业上的应用主要为切割与焊接。在等离子体射流的作用下,待切金属迅速熔化,由于射流冲力大,所以割缝光滑无毛刺。射流是稳定的,又是可约束的,在附加导向机构协助下,可使割缝准确、狭窄,比传统工艺大大提高了精度。

焊接与切割的原理无本质区别。焊接时要求弧柱急骤冷却,以免熔化金属飞溅。焊接的保护气氛通常为氩、氦、氮、二氧化碳及混合气体等。

除了常规焊接外,还能承担特殊焊接任务,如铝的制作加工、原子能及宇航设备、非金属材料焊接等。特别引人注目的是医疗上的应用,如假牙、人造心脏瓣膜等超薄材料的焊接有着重要意义,因为等离子体焊缝不会形成原电池。

五、等离子体与化工

1. 等离子体喷涂

喷涂在工业上意义很大,例如热交换管内壁可用等离子体喷涂上10~100 μ m金属碳化物或耐磨材料(如氮化硼),即可大大提高使用寿命。在特别恶劣的条件下工作的关键部件,采用新工艺可优于一切不锈钢或特种耐火材料。将等离子体技术用于装璜,工艺可与镀金媲美。

2. 烟尘的等离子体处理

基本原理是用等离子枪把空气加热到3000~5000 $^{\circ}$ C,夹带粉尘喷射到一个充满焦炭的

竖炉中,所有的金属氧化物都被还原为金属.上述SKF公司开发的Plasmadust方法已于1984年用于工业,3台6MW的等离子体发生器可回收金属 3.5×10^7 kg,其中包括Ni、Cr等贵金属.

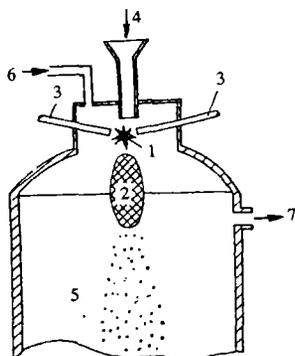


图4 锆英砂在等离子体中一步裂解制二氧化锆流程示意图

1. 电弧 2. 等离子体焰 3. 电极 4. 锆英石料口
5. 二氧化锆 6. 气体进口 7. 气体出口

3. 等离子体加工粉料

非金属的人工晶体微粉(如氮化硼、二氧化锆等)是高科技领域不可缺少的原料,非晶态金属粉末又是材料科学的一个重要角色.这些材

料通常要采用冶炼、破碎、球磨、筛选及化学处理等一系列工序,而等离子体法是一步式的.以二氧化锆为例,美国离子弧公司用锆英砂($ZrC_4 \cdot SiO_2$)为原料,在直流电弧等离子体焰中一步裂解制备产品,见图4.清华大学在氮化硼微粉生产方面,也取得了较好的成果.

4. 煤的气化

用等离子体工艺,煤的气化效率高达80~90%,大体流程见图5.

除了以上应用以外,等离子体技术还在发电、通讯、电光源、高压断路器、火箭推进器、同位素分离等方面均有重要应用.

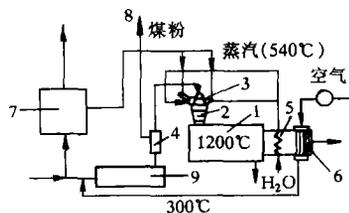


图5 煤等离子气化流程示意图

- 1—煤气发生器气化室 2—等离子体反应器 3—等离子体发生器
- 4—煤粉分离器 5—蒸汽过程器 6—空气预热器
- 7—等离子体电源 8—排气 9—燃料制备

小资料

关于“数字地球”

“数字地球”(The Digital Earth)最早提出于1997年下半年,1998年1月31日,美国副总统戈尔在美国加利福尼亚科学中心发表了题为“数字地球:21世纪认识地球的方式”的讲演.

戈尔在他的演讲中指出:“数字地球”,即一种可以嵌入海量地理数据的、多分辨率的和三维的地球表示.我们认为,“数字地球”是对真实地球及其相关现象的统一性的数字化重现和认识,它包括构成体系的数字形式的所有空间数据和与此相关的所有的文本数据,及其涉及的把数据转换成可理解的信息并可方便地获得它的一切相应的理论和技术.“数字地球”的核心思想有两点,一是用数字化手段统一性地处理地球问题,另一点是最大限度地利用信息资源.

简单地讲,“数字地球”主要是由空间数据、文本数据、操作平台、应用模型组成的.这些数据不仅包括全球性的中、小比例尺的空间数据,还包括大比例尺的空间数据(比如大比例尺的城市空间数据);不仅包括地球的各类多光谱、多时相、高分辨率的遥感卫星影像、航空影像、不同比例尺的各类数字专题图,还包括相应的以文本形式表现的有关可持续发展、农业、资源、环境、灾害、人口、全球变化、气候、生物、地理、生态系统、水文循环系统、教育、军事等等不同类别的数据.操作平台是一种开放、分布式的基于INTERNET这样的网络环境的各类数据更新、查询、处理、分析的软件系统.应用模型包括在可持续发展、农业、资源、环境、灾害(水灾、旱灾、火灾)、人口、气候、生物、地理、全球变化、生态系统、水文循环系统等方面的应用模型.

(下吉 秦宝 编)