

# 等离子体在钽铌冶金中的应用

曹永仙 高连让

(中国科学院力学研究所)

张汉华 廖贡越

(广西栗木锡矿)

本文介绍了用三相工频等离子体冶炼富集钽铌工业试验的情况,叙述了工业试验的工作原理、所用的设备、试验的过程及取得的试验结果等。

## 一、引言

等离子体通常称为物质的第四态。它是一种电中性的气体,具有高温、高熔、能量集中、使用气氛可变和温度可控等特点,适合于冶金的要求,显示出很强的生命力,在国内外都给予极大的重视。

低温等离子体的温度皆在3000~25000℃,更适合于高熔点金属的熔炼。在熔炼过程中,由于高温使粒子处于激发和离子状态下参加化学反应,这不仅可提高反应速度、缩短冶炼时间,而且使常温下不能进行的反应得以实现。

等离子体在冶金中主要用于矿石分解、还原、富集、重熔和提纯等,在国内外已有大量的报道,如炼钢<sup>[1]</sup>,分解辉钼精矿生成钼铁<sup>[2、3]</sup>,还原钛铁矿<sup>[4]</sup>,热裂解锆英石<sup>[5、6]</sup>,由铬矿石直接生产铬铁<sup>[7]</sup>及从镍钴精矿中回收镍和钴<sup>[8]</sup>等。

## 二、实验及结果

### (一) 工艺流程

钽和铌都是高熔点稀有金属,通常是用湿法冶金来获得。由于现有的钽铌冶炼的工艺流程比较长和复杂,回收率不高,化学试剂用量较多,生产成本低,造成环境污染等,因此有必要探索新的冶炼工艺。用等离子体

冶炼富集钽铌的尝试就是要替代现有工艺流程中的部分工序,简化生产工艺流程,减少或克服现有工艺流程中的部分不足之处,提高经济效益。

按等离子体产生的方式不同而可将其分为各种类型。三相工频等离子体是利用50周波的三相交流电产生的。它的特点是:所用的设备简单,使用的功率不受限制,投资少,热效率高(可达80%左右)。缺点是等离子体的纯度及稳定性差些。但是,仍能满足冶炼富集钽铌的要求。

用三相工频等离子体对钽铌毛精矿进行冶炼富集的工艺流程如图1所示。

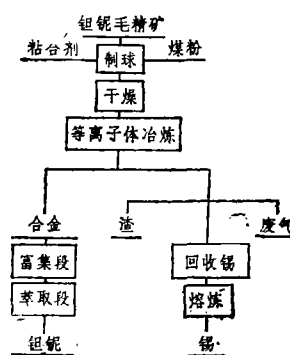
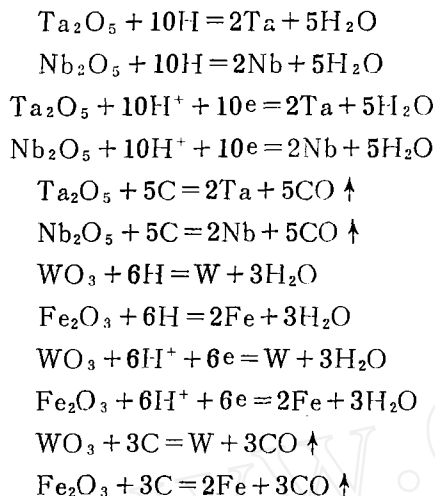


图1 用三相工频等离子体富集钽铌的工艺流程图

### (二) 工作原理

钽铌毛精矿的组分皆以氧化物的形式存

在，在氢等离子体电弧的热作用下，进行分解和还原反应。与此同时，与钽铌毛精矿混合的煤粉产生碳粒子，炉体内的石墨电极在高温下也挥发出碳粒子，都参与还原反应，其反应方程式如下：



还原的钽、铌、钨和铁生成合金。矿料中的其它杂质也同样被还原，生成单质，部分受热作用后排出炉外，余下部分浮在合金上面，形成渣滓，与合金分离得很好。钽铌钨铁合金再经过湿法冶炼处理，得到钽铌富集渣，进而得到钽和铌。

### (三) 实验装置

曾用过功率为150kW三相工频等离子体装置进行实验<sup>[9]</sup>，在此基础上进行功率为1000kW三相工频等离子体的工业试验。工作系统的方框图及装置示意图如图2、3所示。



图2 三相工频等离子体工作系统方框图

三相工频等离子体装置由发生器、反应器、电极传动器、投料器、出料器及烟尘回收设备组成<sup>[10]</sup>。发生器和反应器内外壁组成冷却通道，内壁里嵌着石墨炉衬。发生器顶部装有氢气进气口，侧面安装三根互为120°的石

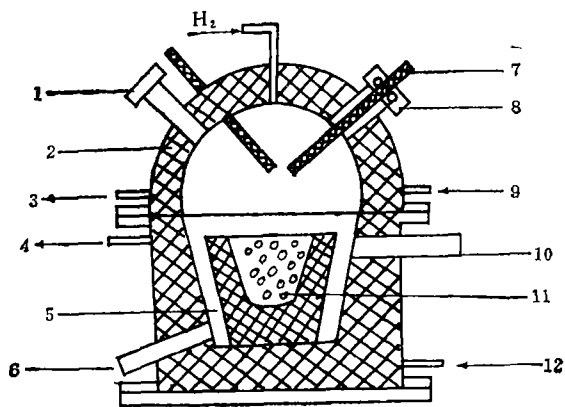


图3 三相工频等离子体装置示意图

- 1.投料器；2.炉衬；3、4.冷却水出口；5.坩埚；6.出料器；7.电极；8.电极传动器；9、12.冷却水进口；10.烟道；11.矿料球

墨电极，与变压器的输出铜排相联，并且在两根电极中间装有一个投料器，在电极上端装有电极传动器，调节电极进出；反应器内的石墨炉衬中间为凹形圆柱槽，可装坩埚或改为炉膛用，侧面有个烟道出口，与烟尘回收设备相联，侧面下方有个出料口，供出料用。

### (四) 冶炼富集过程

高压电输入变压器，降压到130~140V后送到电极，电极接触起弧后弧电压为80~110V，弧电流为3000~4200A。饱和电抗器是调整弧电流及防止起弧时过电流。氢气进入发生器的电弧区，在热的作用下，分解为氢原子，并产生氢离子，形成氢等离子体电弧。电弧的温度为5600~7000℃<sup>[11]</sup>。氢原子和氢离子带着热量进入反应器，给坩埚或炉膛的炉料进行加热，同时作为还原剂参加化学反应。

钽铌毛精矿与煤粉按一定比例混合，加入粘合剂、拌匀，经制球机制成直径约为20mm的矿料球。干燥的矿料球装入坩埚、炉膛或经过投料器投入。矿料球受热时除了与煤粉的碳粒子发生化学反应外，石墨电极和炉壁受热挥发所产生的碳粒子也进入反应器与矿料进行化学反应。钽、铌、钨和铁被还

表 1 钽铌钨铁合金的成份及回收率

成份	(Ta+Nb) <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	W	Fe	Sn	回收率, %		
					Ta+Nb	W	Sn
含量, %	21.59~25.19	15~20	18~30	0.05~0.1	平均95	95~98	99~99.8

表 2 合金中的杂质含量

杂质元素	Al	Ti	Zn	Mn	Si	Cu
含量, %	~1	~1	~0.01	~1	0.3~1	~0.03

原, 生成合金。低熔点的杂质还原成单质, 部分挥发排除, 由收尘设备收集, 减少对环境的污染, 余下部分如硅等在合金表面形成渣滓。由于还原的铁也部分地挥发, 这样就使钽铌得到富集。

(五) 冶炼富集结果

曾对钽铌品位不同的毛精矿进行了试验, 都能使钽铌得到富集。如钽铌品位为0.34%的毛精矿, 可富集到11~16倍。钽铌毛精矿品位的选择主要取决于经济成本的核算。现以钽铌含量为2.64%的毛精矿(其成份为: Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>1.265%, Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>1.375%, W 1.348%, Fe9.711%, Sn3.026%)为例, 经用三相工频等离子体冶炼富集后, 生成的钽铌钨铁合金的成份及回收率如表 1 所示。

合金中所含杂质经光谱定性分析的结果见表 2。

合金中含有杂质少, 进行湿法处理时可使现有工艺流程中的部分工序省略<sup>[12]</sup>。

三、几点看法

1. 用三相工频等离子体富集钽铌的工艺是可行的, 工艺路线是畅通的。在技术上可以替代现有工艺中的精选部分, 能简化现有的生产工艺流程。在公开发表的资料中未曾见过这种新的工艺流程。

2. 这种新技术对矿料的粒度、形状等都没有要求, 提高了选矿的回收率。

3. 使用该工艺可将湿法冶炼处理量减

少3/4, 不仅减少了劳动力, 而且减少了化学试剂的用量, 改善对环境的污染, 节省“三废”的治理费用。

4. 用三相工频等离子体冶炼富集钽铌, 钽铌回收率可提高9%左右<sup>[13]</sup>, 并且经过湿法冶炼处理得到的钽铌产品质量达到国家和企业的标准。提高了经济效益, 生产1吨钽铌产品可节约1.3万元<sup>[12]</sup>。综合计算, 有较好的经济效益。

5. 三相工频等离子体的设备简单, 便于操作, 投资少。

参加此项工作的还有欧阳通、诸葛建兴、赵素琴、杨忠辉、徐复、邓元荣、刘铁坚、廖仁安和蒋树深等同志, 在此谨致谢意。

参 考 文 献

[ 1 ] Сталь, 1979, 2, 115  
 [ 2 ] 欧阳通等, 金属材料研究, 1985,(4)  
 [ 3 ] P. R. Kubahek et al., Ploceeding of 3rd International symposium on plasma chemistry, 1977, s. 5. 4  
 [ 4 ] 美国专利3429665  
 [ 5 ] P. H. Wilks et al., Chem, Eng, 1975, 82(25)  
 [ 6 ] 纪崇甲等, 等离子体热解锆英石制取氧化锆技术研究, 1987  
 [ 7 ] 工业加热(日), 1977, 14(1)  
 [ 8 ] C. Sheen, J. Electrochem. Soc, 1969, 106, 874  
 [ 9 ] 中国科学院力学研究所等, 工频等离子体富集钽铌矿实验报告, 1982  
 [ 10 ] 曹永仙等, 三相工频等离子体装置设计和使用的总结, 1986

(下转185页)

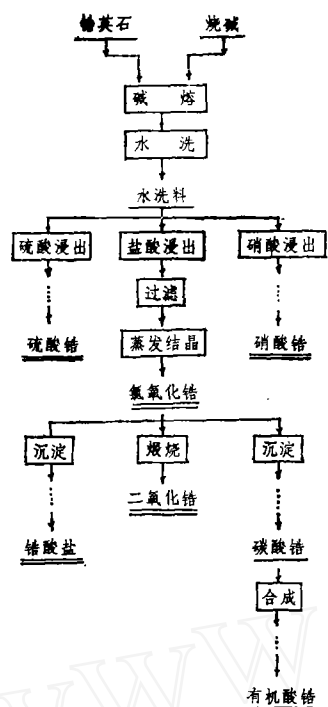


图 1 主流程与其钙化合物制备的关联

氯化钙的吨成本列于表 8。从表中可以看出，按现行售价 8000 元/吨计算，每吨产品的税利可达 4164.05 元，效益是可观的。

## 五、结 论

1. 本研究的流程是一个合理的钙化合物主流程，利用该流程可以制备多种钙化合物。

2. 与国内类似流程相比，该流程短、操作方便、回收率高、原材料消耗少、成本低。主要原材料成本与硫酸法相比降低了五分之二，经济效益显著。

3. 产品质量好，对氯化钙而言，无硫酸根，钠含量低。

4. 与硫酸法相比，减少了三废，每吨产品废水减少三分之二，废渣减少五分之四。

表 8 氯化钙成本核算

成本项目	单价, 元	吨 耗	吨成本, 元
萤石, t	1000	0.7292	729.20
烧碱, t	900	0.9575	861.75
盐酸, t	120	3.77	452.40
凝聚剂, kg	7.0	10	70.0
水, t	0.16	150	24.0
电, kw·h	0.09	1700	153.0
蒸汽, t	11.52	30	345.6
工资与福利			200.0
车间经费			500.0
企业管理费			500.0
合计			3835.95

(上接 180 页)

[11] 曹永仙, 三相工频氢等离子体的温度和密度的测量, 1982

[12] 廖贡越等, 等离子体富集钽铌合金的湿

法处理, 1986

[13] 廖正戴等, 栗木锡矿钽铌选矿生产实践及提高回收率的技术发展方向, 1986