

出国技术考察报告

挪威钛工业及其铁合金

冶考 82—58

(内部资料·注意保存)

冶金工业部情报研究总所
四川省冶金情报标准研究所

前 言

应挪威埃尔克姆总公司的邀请，冶金工业部钛冶炼技术考察组，于1981年3月21日赴挪威，考察挪威钛工业情况。在挪威逗留半个月中，参观了五家工厂、一座矿山、一所研究中心和一所工业大学。

我驻挪威使馆对这次钛考察非常重视，考察组未到挪威之前，使馆同志就和挪方主管接待单位埃尔克姆总公司经理讨论技术考察有关问题。考察组到挪威后，使馆同志又对考察有关问题做了具体指点和帮助，在生活上给予了很大的照顾，使这次考察任务完成得比较好。

通过这次考察我们把挪威钛生产厂、铁合金生产中某些具有参考价值的技术情况和资料，结合我国攀枝花钛资源综合利用的需要，编写了这份考察报告，从七个方面做了重点介绍。由于考察时间短和挪威某些工厂主的限制，加上我们在某些技术上缺乏经验，有些材料根据我们事后回忆整理，所以报告中一定会有不少错误和缺点。仅供有关部门领导和同志参考。不妥之处，请批评指正。

冶金工业部赴挪威钛冶炼技术考察组

董洪超 宋小中 陈体银

毛天骥 苑久贵 段崇德

目 录

前 言

一、概 况.....	(1)
二、钛铁矿山及采选厂.....	(2)
(一)矿床及采矿场.....	(2)
(二)选矿厂.....	(3)
三、硫酸法钛白生产工艺和设备.....	(5)
(一)克鲁诺斯钛公司的情况.....	(5)
(二)姚德烈斯塔钛白粉厂的概况.....	(5)
(三)原 料.....	(6)
(四)生产工艺和设备.....	(6)
(五)主要技术经济指标.....	(8)
(六)几点看法.....	(9)
四、熔炼钛渣工艺的研究.....	(9)
(一)埃尔克姆研究开发中心概述.....	(9)
(二)电炉法熔炼钛渣的研究综述.....	(9)
(三)对钛渣电炉的意见.....	(12)
五、铁合金生产现状及其设备.....	(13)
(一)概 况.....	(13)
(二)生产工艺.....	(13)
(三)单耗与经济效益.....	(14)
(四)电炉设备.....	(14)
六、电炉烟气净化.....	(19)
七、对挪威钛及其铁合金生产技术的评价.....	(21)

一、概 况

挪威钛铁矿储量很丰富，有海滨砂矿和岩矿两种，其中以岩矿为主。挪威钛工业发展比较早，1910年挪威研制出钛铁矿硫酸法制取钛白的专利。1916年挪威建成世界上第一座钛白工业生产厂。在1916年至1926年间挪威钛白的生产占世界主导地位。1927年合并于美国铅工业公司，在挪威建成了年产万吨级钛白生产厂。

挪威60年代初开始研究钛精矿电炉熔炼高钛渣的工艺和设备，研究了几年。因当时的技术，电炉操作不正常、耗电高、钛渣成本高，销路有问题，终止了试验。七十年代末挪威又重新进行电炉熔炼高钛渣的研究。这次研究的工艺是钛精矿经预还原后热料装入电炉进行熔炼。目前试验正在进行中。

自焙电极的技术是挪威较早发明并应用于工业生产的，对自焙电极的技术有丰富的经验，但目前仍对自焙电极进行大量的科学研究。

挪威铁合金工业比较发达，对设计和制造大型电炉有较丰富的经验。

现将我们考察过的公司、工厂、研究所和学校概貌介绍如下：

(一) 埃尔克姆公司

该公司建于1904年，现是挪威十大财团之一。总部设在首都奥斯陆。总公司分铝、钢、生铁、铁合金、采矿和工程六个部份，现有雇员9000人，30个生产厂。埃尔克姆公司为世界各国设计和制造的大型电炉有340台，该公司不仅出售冶金产品而且还出口技术，承担设计和设备制造等任务。该公司多次表示愿为中国新建钛渣厂提供大型电炉设备。

(二) 费斯卡硅铁合金厂

该厂位于挪威南部克里斯蒂安桑市附近，是埃尔克姆公司最早的铁合金生产厂。该厂主要生产硅铁、纯硅和电极糊。年产能力：75%硅铁1.4万吨；纯硅1.7万吨；挥发性纯硅1.2万吨；电极糊8万吨。

(三) 费斯卡冶金研究所

该所紧靠费斯卡硅铁合金厂，是埃尔克姆公司电冶金方面研究中心，占地面积5600米²，现有工作人员120人，其中50名工程技术人员，其余为工人和职员。主要承担埃尔克姆公司提供不同冶金原料进行电冶金工艺和设备的研究，为工业设计提供数据、提供程序控制和环保条件等。目前研究的重点项目有：(1)钛铁矿预还原电炉熔炼高钛渣的工艺和设备研究；(2)自焙电极最佳配比和导电性、强度等方面研究；(3)硅铁、纯硅最佳工艺条件的研究。

(四)波斯贡锰铁合金厂

该厂建于1915年，位于挪威东南部勃斯格隆市附近，1966年合并于埃尔克姆公司，现是埃尔克姆公司锰铁合金主要生产厂。年生产能力锰铁合金10万吨，精炼锰铁合金1万吨，锰硅合金5万吨。

(五)泰坦尼亚钛铁矿山及采选厂

泰坦尼亚钛铁矿山及选矿厂位于挪威西南部豪格松市附近，是挪威二氧化钛公司钛精矿主要生产厂，隶属于美国铅工业公司。钛铁矿储量3.5亿吨，露天开采，年产矿石250~300万吨。矿石经破碎至10毫米以下送选矿厂细磨，磁选法分离出磁矿后采用全浮流程选取钛精矿和硫化物精矿。年产钛精矿85~90万吨，硫化物精矿1.5万吨，铁精矿5万吨。选矿厂砂泵和管道易磨损部位均采用碳化硅做衬里，据介绍，20年磨损很小。

(六)腓德烈斯塔钛白粉厂

该厂位于挪威的东南部，腓德烈斯塔市近郊，是挪威克罗诺斯钛公司钛白主要生产厂，隶属美国铅工业公司，该厂硫酸法生产钛白年产量为2.5万吨。

(七)挪威工业大学

该大学位于挪威中部特隆赫姆市，是挪威著名的一所工科大学。我们重点参观了该大学冶金系试验研究室。试验室除承担教学任务外，还重点承担了埃尔克姆公司和阿克耳公司矿样鉴定、选矿工艺、冶金基础的试验研究。试验室设备齐全，控制仪器仪表先进。为埃尔克姆公司承担的重点研究项目有：(1)全浮选矿工艺最佳药剂及工艺条件的研究；(2)钛精矿预还原电炉熔炼高钛渣基础理论的研究；(3)高速离心烟气除尘设备的研究。该试验室还进行四氯化钛熔盐电解制取金属钛的探索试验等。

(八)船坞矿山设备制造厂

该厂距离特隆赫姆市40公里处海岸上，隶属阿克耳公司，主要生产船坞、海上石油钻探设备和矿山采矿选矿设备。该厂和我国大连造船厂有协作关系。

二、钛铁矿山及采选厂

泰坦尼亚矿山及采选厂，位于挪威西南部豪格松市附近的泰坦尼亚，距海岸港口四公里，是挪威二氧化钛公司钛精矿的主要生产厂，隶属美国铅工业公司。

(一)矿床及采矿场

泰坦尼亚钛铁矿脉矿床储量为3.5亿吨。原矿的化学成份如下：

TiO ₂	17~18%，	FeO	16%，	Fe ₂ O ₃	7.5%。
SiO ₂	31%，	Al ₂ O ₃	10%，	MgO	7%。
CaO	4.5%，	S	0.25%，	P ₂ O ₅	0.3%。
Cr ₂ O ₃	0.05%，				

矿石露天开采，矿带长 2000 米，宽 50~300 米。采场职工 320 人，年产矿石 250~300 万吨。主要采矿及运输设备有：孔径 250 毫米牙轮钻机，钻孔深度 15~18 米，钻孔之间距离 5 米。采用液体炸药，用泵将液体炸药注入孔内，无电引爆，每次每孔爆破矿石量为 50~100 吨。爆破后的矿石用 3 米³电铲装入 80~90 吨自卸汽车运至 1 公里处破碎车间。

(二) 选矿厂

选矿厂设计能力年产钛精矿 100 万吨。选厂职工总人数 73 人，其中 10 个管理人员、19 个机械维修人员，44 个操作工人。

泰坦尼亚钛铁矿石包括钛、铁等氧化物，硫化物及硅酸盐等几类矿物，在各类矿石中，它们以不同的嵌布方式和共生关系组成一个整体，矿石呈致密块状。矿石中主要有用矿物为钛铁矿，尚有 2~3% 磁铁矿、1% 硫化物矿以及脉石矿物。

矿石由矿山破碎车间的旋回和圆磨(处理量 800 吨/小时)破碎至 10 毫米以下，经皮带输送机送选矿厂。选矿厂主厂房布置四台球磨机细磨，处理量 450 吨/小时。其中一台大的球磨机功率为 2000 马力，处理量为 200 吨/时。其中三台小球磨机功率为 1000 马力，每台处理矿量为 85 吨/时。球磨机使用的球介质为直径 70 毫米合金钢球(含铬 27%)。磨矿细度为 0.2 毫米，然后进入湿式弱磁场磁选机分离出强磁性物，该产品进一步浮选，选出铁精矿和硫化物精矿。硫化物精矿含镍 4~4.5%，铜 2~2.5%，铬 0.8%，钴 0.8%，硫 30%。铁精矿(磁铁矿)年产量为 5 万吨，硫化物精矿 1.5 万吨。湿式弱磁选尾矿经浓缩脱泥进行浮选钛精矿，净选药剂为塔尔油等。在弱酸性介质经四次精选获得含 TiO_2 44% 钛精矿，该矿用砂泵打入另一选钛车间，加入硫酸 8 公斤/吨钛精矿，进一步浮选获得硫化物精矿和最终钛精矿。钛精矿经浓缩、过滤、回转窑干燥至含水 2% 后，存入码头料仓，散装船外运。

钛精矿的化学成份如下：

TiO_2	44.5 ~ 45.5%，	SiO_2	2.5~3%。
FeO	33.5 ~ 34.5%，	Fe_2O_3	12 ~ 13%。
Al_2O_3	0.5 — 0.7%，	MgO	4.5~5.5%。
CaO	0.2 ~ 0.3%，	MnO	0.2~0.3%。
V_2O_5	0.15~ 0.17%，	Cr_2O_3	0.07%，
P_2O_5	0.03%，	S	0.04%。
C	0.055%，	ΣFe	34.5~35%。

钛精矿粒度分析如下：

泰勒纲目	粒度(mm)	%
35	0.417	0
65	0.208	1~2
150	0.104	20~25
200	0.074	35~40
325	0.044	65~70

泰坦尼亚选钛厂，产钛精矿量 85~90 万吨/年，除供本国克罗诺斯钛公司 6 万吨外，其余销往英国、西德、丹麦等国。钛精矿离岸价格为每吨 30 美元。

泰坦尼亚选钛厂使用的砂泵衬里、管路弯头及管路易磨处都采用碳化硅衬里。据介绍砂泵使用20年磨损仍很小。浮选槽的搅拌装置也采用碳化硅保护。砂泵衬里主要采用细粒状碳化硅，聚氰胺树脂做粘结，调到适当稠度铸入泵上和管道易磨处。

其选矿的工艺流程见图1。

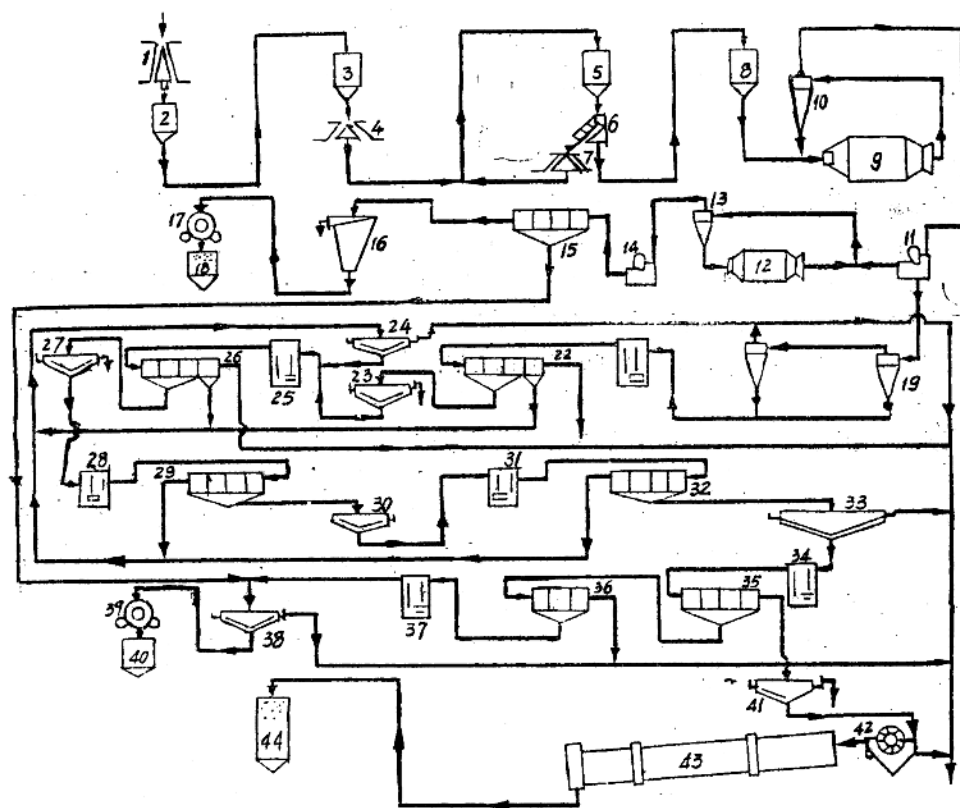


图1 选钛厂流程图

- 1—42英寸旋回破碎机，2—园筒形矿仓(100吨)，3—园筒形矿仓(4500吨)，4—7英尺西门子型圆锥破碎机，5—园筒形矿仓(4500吨)，6—Linaberg型筛，7—5½英尺西门子型短头圆锥破碎机，8—园筒形矿仓(5000吨)，9—球磨机，10—水力旋流器，11—磁选机，12—球磨机，13—10英寸水力旋流器，14—脱水圆锥，15—浮选机，16—旋流器，17—过滤机，18—园筒形矿仓(4000吨)，19—旋流器，20—旋流器，21—调和槽，22—浮选机，23、24—浓缩机，25—调和槽，26—浮选机，27—浓缩机，28—调和槽，29—浮选机，30—浓缩机，31—调和槽，32—浮选机，33—浓缩机，34—浸出槽，35—浮选机，36—浮选机，37—调和槽，38—浓缩机，39—过滤机(20米²)，40—园筒形矿仓(5000吨)，41—浓缩机，42—过滤机，43—干燥窑，44—园筒形矿仓(5万和8万吨)。

三、硫酸法钛白生产工艺和设备

(一) 克鲁诺斯钛公司的情况

该公司于1927年成立, 属于美国国家铅公司的子公司, 下属五个厂: (1)西德莱弗库森厂; (2)西德诺登哈姆厂; (3)挪威姚德烈斯塔厂; (4)比利时的兰格尔布鲁根厂; (5)英国的威尔姆斯洛克厂。每年约产钛白粉25万吨左右。品种共有30多种, 其中有颜料、造纸、塑料用的, 以及无颜料性能的钛白粉。颜料用的有金红石型和锐钛型, 销售于世界各国。其生产厂家和产量列于表1

(二) 姚德烈斯塔钛白粉厂的概况

挪威于1909年由若不森和法布尔二位先生发明钛白粉生产的专利。1910年开始试制钛白粉, 1916年挪威的钛颜料公司与美国颜料公司合并, 1927并入美国国家铅公司。

该厂位于挪威东南部, 临靠一条河, 离海岸近。1918年开始用硫酸法生产钛白粉, 是世界较早大规模生产厂之一。产量逐步扩大, 现年产钛白粉2.5万吨。股份全属于美国国家铅公司。产品90%以上出售, 50%售给什堪挪威亚半岛, 其余50%售给世界各国, 年销售额约17亿克朗。生产了10种颜料钛白粉, 其中9种是金红石型, 1种是锐钛型的。产品中颜料占50~60%, 造纸占15%, 塑料占15%, 橡胶, 陶瓷等占20%。

生 产 厂 家

表 1

公 司 名 称	主 要 股 东 (股份%)	工 厂 所在国	工 厂 所 在 地	现有产能(万吨/年)		产 品 牌 号
				硫 酸 法	氧 化 法	
克鲁诺斯钛 公 司	美国国家铅公司 Notional Lead Industries	西 德	莱弗库森 Leverkusen	8.6— 10.0	3.0— 4.0	Kronos
Kronos Titan GmbH	"	西 德	诺登哈姆 Norden Ham	3.0		"
"	"	挪 威	姚德烈斯塔 Fredrikstud	2.5		"
"	"	比利时	兰格尔布鲁根 Langerbrugge	4.0		"
"	"	英 国	威尔姆斯洛克 Wilmslow			"

全厂有240人，每班仅16名操作工人。厂区占地约0.5平方公里，投资约化1~1.25亿克朗（以前的投资）。

该厂50%的废酸是闭路循环使用，其余50%用泵通过管路打入河底中和排入海。一半硫酸亚铁弃入海，另一半脱水制粒，作水的净化剂。所有废气都经过净化处理。

(三) 原料

1) 钛精矿采用挪威西南部豪格松 (Hougesund) A/S 公司生产的，用船散装运至码头，由汽车运至厂区。

钛精矿的化学成份：%

TiO ₂	SiO ₂	FeO	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	MgO	CaO
44.5-	2.5-	33.5-	12.0-	0.5-	4.5-	0.2-
45.5	3.0	34.5	13.0	0.7	5.5	0.3
V ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃	P ₂ O ₅	S			
0.15—0.17	最大0.07	最大0.03	最大0.04			
C	ΣFe					
最大0.055	34.5-35.0					

钛精矿粒度：

Tyler网目	毫米	占百分比%
35	0.417	0
65	0.208	1~2
150	0.104	20~25
200	0.074	35~40
325	0.044	65~70

2) 硫酸：硫酸由距该厂20公里化工厂供应，硫酸浓度95%。

(四) 生产工艺和设备

该厂用硫酸法生产钛白粉工艺流程与其它厂大同小异，全流程包括17个工序，一半以上工序是连续的，另一半是间断操作，原料进厂到出产品约4天时间。

1. 工艺流程 如图2所示。

2. 工艺流程简述 该厂原料露天贮存，水份4~6%，有2个300米³浓硫酸储槽。

1) 破碎：采用热风干燥球磨，粉碎料闭路循环，经旋风分离，粗粉返回，细粉经皮带和计量后送入混合仓。粉料细度为16400目/厘米²，约44微米，筛余物为20%。

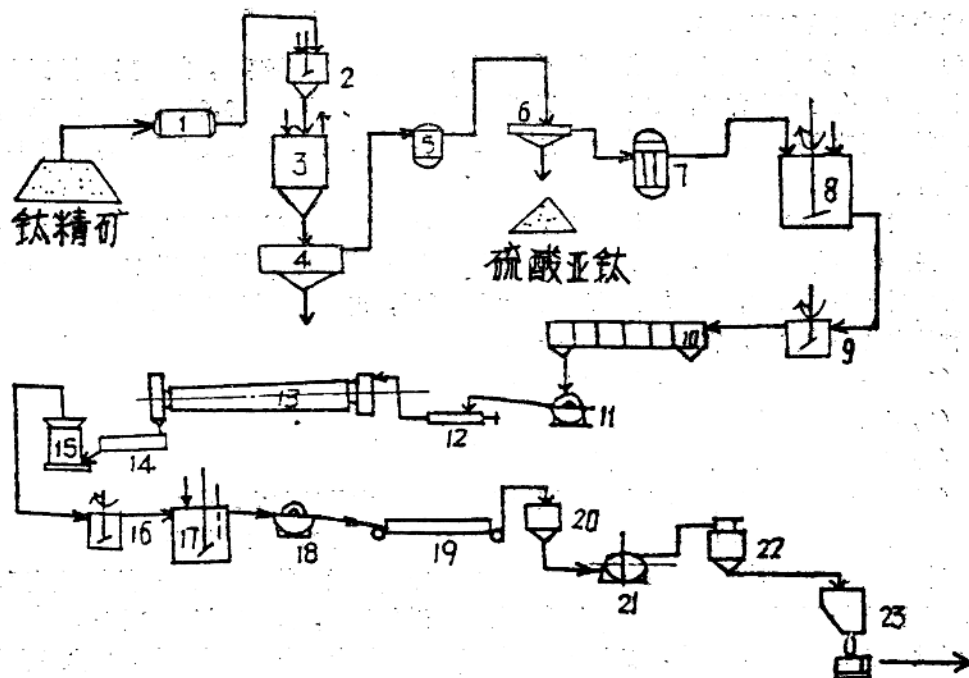


图 2 硫酸法钛白生产工艺流程图

说明：1—风干球磨机； 2—混合仓； 3—酸解罐； 4—沉降槽；
 5—结晶槽； 6—圆盘过滤机； 7—浓缩槽； 8—水解槽；
 9—处理槽； 10—水洗槽； 11—圆筒过滤机； 12—挤压泵；
 13—回转窑； 14—冷却机； 15—雷蒙磨； 16—打浆槽；
 17—表面处理槽； 18—过滤机； 19—链带干燥器； 20—料仓；
 21—气流粉碎机； 22—旋风分离器； 23—包装机。

2) 酸解与还原：硫酸浓度95%，加入返回酸，配成84%的酸液，与上述矿粉加入酸解罐，先加料，后加酸。矿：酸 = 1：1.44，加入水蒸汽稀释硫酸，产生稀释热，反应温度180℃，反应后固化，加水浸出，加铁屑使高价铁还原成低价铁，每罐加料28吨，每次过程约12小时。

3) 沉降与渣液分离：钛液经酸解罐放入沉降池，同时加入有机絮凝剂，(3种药剂如拉开粉、丙稀酰胺及Polyacrltae等)。沉降约4—6小时，除去钛液悬浮物，残渣洗涤排掉。

4) 冷冻结晶：钛液由60℃冷到10℃析出硫酸亚铁，经盘式过滤机过滤，除去70%FeSO₄，分离后部份亚铁经过再结晶提纯，作为付产品出售。

5) 浓缩：浓缩过程应控制温度与真空度，并使钛溶液浓度达到170~240克/立升。

6) 水解：采用密封加压水压，约一个大气压，温度、压力等均自动控制。预先配制好晶种(由20%水，80%钛液及加种子形成)与钛液装入水解锅，经过一系列物理化学反应得偏钛酸。

7) 洗涤：水解后物料经过滤机(Movre)过滤，并进行水洗，洗涤时加入适量硫酸去

铁，洗去硫酸亚铁和 SO_4 根。

8) 漂白：为了改善产品的色相和物理性能，根据最后产品要求，如果要求得到金红石型，就需加入金红石型种子，如少量的 Al_2O_3 ， ZnO 等，该厂加入0.28 TiO_2 量的 ZnO 。如果要求得到锐钛型产品，就需加入少量的 KOH 或 H_3PO_4 ，该厂加入<5% TiO_2 量的 H_3PO_4 或 KOH 。

9) 煅烧：进入回转窑的 $\text{Ti}(\text{OH})_4$ ，先通过外滤式的圆筒过滤机（过滤面积为80平方米）。过滤后物料含水份60%，含 TiO_2 40%，由挤压泵送入窑内，煅烧温度为900~1000℃，窑尾温度控制200~250℃，窑尾废气经电收尘回收粉料，出料进冷却机冷却。煅烧前需加入形成各种钛白型号的种子。在窑中发生四个过程：

(1)第一阶段脱除游离水和结合水。

(2)第二阶段脱除残余的硫酸。

(3)在转窑后部发生晶型的转化。

(4)晶粒长大到0.15~0.25微米，这样可以得到最大的遮盖力。

10) 粉碎：煅烧后钛白粉经六辊式雷蒙磨粉碎，产品为0.2~0.3微米。

11) 表面处理：物料由打浆槽送入处理槽内，并加入适量的水，根据产品的不同要求，可以加入少量的 $\text{Al}(\text{OH})_3$ ， SiO_2 或 ZnO 等化合物进行处理，反应时间约68小时。

经过处理后再过滤，脱水，使之形成外包膜，可以抗大气腐蚀防止老化，持久保留鲜艳光泽。

12) 干燥：表面处理，物料经过滤机过滤后，送链式干燥机。通热空气干燥。

13) 粉碎：干燥后物料送入气流粉碎机粉碎，蒸汽压力15公斤/厘米²。过热蒸汽为200℃，料：汽=1：3。粉碎到0.2~0.5微米。

14) 包装：采用一般的自动包装机，每袋25公斤，运往国外加一层塑料纸。包装成品一般为4吨为一卡，放在木制托板上，便于装车运输，并以大塑料袋从顶到底部罩下密封（防雨、防潮），再装车出厂。

3 主要设备说明

1) 酸解罐：选用酸解罐4台，每台容积100米³，内衬耐酸砖为100毫米厚，每2~3年检修一次。

2) 沉降池：选用2台，每台容积200米³，内衬耐酸瓷砖，每二个星期清理一次。

3) 圆盘过滤机：圆盘直径为5米，过滤量为2.5吨/小时。

4) 煅烧回转窑：采用2台 $\phi 2.4 \times 50$ 米的窑，窑体每9分一转，燃料采用轻柴油，尾气采用电收尘。

5) 气流粉碎机：是奥斯陆产的，共安32台 $\phi 24$ 英寸的粉碎机，每小时产量6吨，过热蒸汽压力为15公斤/厘米²，每台可使用5年。喷头采用不锈钢材质，并喷镀碳化钨。每个喷头使用2个月。

(五) 主要技术经济指标

1) 一吨钛白粉原料单耗：

钛精矿： 2.5吨

硫酸:	3.6吨
耗电:	1000度
轻柴油:	1 吨

2)一吨金红石型钛白粉售价:

1500美元

3)一吨锐钛型钛白粉的售价:

1300美元

4) TiO_2 总回收率: 82%

5)成本分配: 原料占1/3、工资占1/3, 其它占1/3。

(六)几点看法

1)与国内厂对比,其生产规模大,工序紧凑。主要工序采用连续化和自动控制,劳动生产率高。

2)十分重视钛液的质量,对不同的品种,在水解,煅烧,表面处理等工序采用相应的工艺,加不同的晶种和添加剂。

3)采用气流粉碎机,使产品粒度达到0.2~0.5微米,国内此设备不过关,产品粒度达不到要求。

4)付产物的利用:如50%的废酸是闭路循环使用。50%硫酸亚铁经脱水制粒,出售作水的净化剂。全部废气经过净化,达到卫生排放标准。

四、熔炼钛渣工艺的研究

(一)埃尔克姆研究开发中心概述

埃尔克姆公司曾在六十年代,在其研究开发中心进行过钛渣生产工艺的研究。

该研究中心有工作人员120名,其中大学毕业的工程技术人员占50%,其余为工人和职员。占地面积5600米²。

有较好的技术装备,具有预还原电炉熔炼、电极糊配方、电极性能等研究为主体的各种手段。不仅研究工艺流程,而且还研制电子计算机自动控制冶金过程。因此,其技术力量强,一直承担挪威和国外一些专门项目的研究。利用他们的研究成果,已建立了一批现代化的冶金工厂,如我们参观过的 Fiskaa 和 PEA 两个铁合金工厂。其次,该中心还有一个特点,就是在研究合理的生产工艺的同时,还研究与之相适应的冶金设备的最佳参数,以求新建或改建工厂。

(二)电炉法熔炼钛渣的研究综述

1、工艺流程

工艺流程见图3。

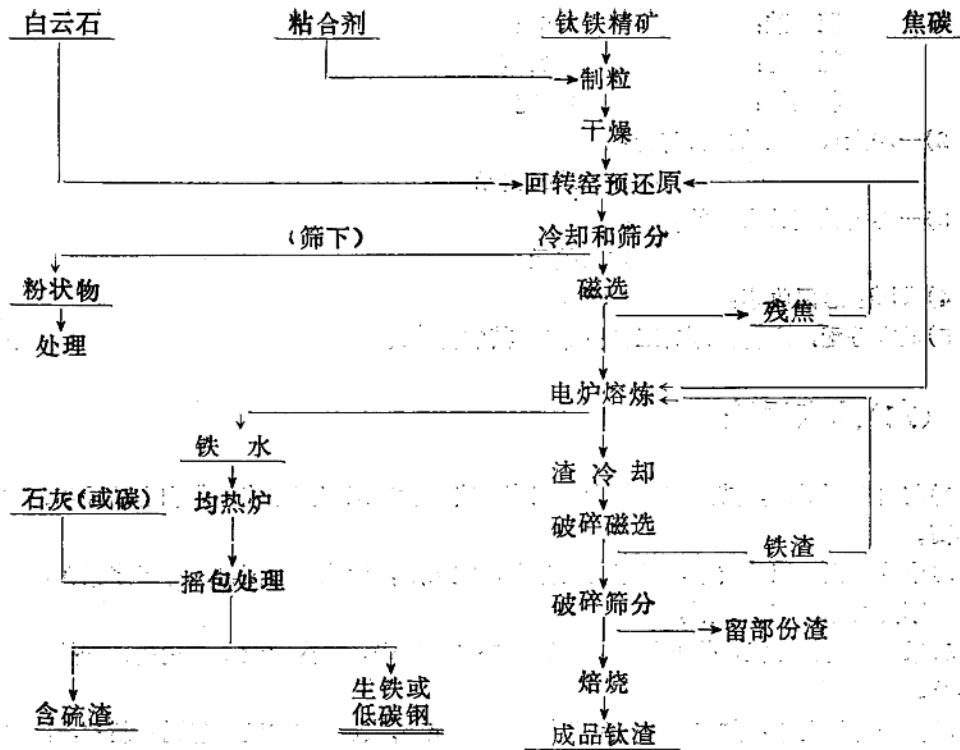


图3 钛渣工艺流程

2 工艺流程说明

- 1) 为了使电炉熔炼过程能稳定控制，电炉炉料采用了预还原工艺处理。
- 2) 原料制粒：钛铁精矿加配粘结剂，在圆盘制球机上制成球团，随后在链篦机上烘干。
- 3) 预还原：球团料外配过量焦炭和适量白云石。一齐加入回转窑，控制一定的温度、时间进行预还原焙烧。出窑料冷却、筛分，除去粉状物（焦炭灰份），随后再经磁选除去烧完的残焦，得到金属化率达75%的预还原炉料。

外配白云石是为了改善炉料的熔炼性能，得到流动性较好的钛渣。

- 4) 电炉熔炼：预还原炉料配少量焦炭加进电炉里熔炼。生成的渣铁分别从出渣口和出铁口放出。

5) 钛渣后处理：出炉渣经冷却、破碎、磁选处理除去铁渣（返回电炉），再经破碎筛分便得到成品钛渣。钛渣的少部份炉前贮存（可能是垫渣模用），其余的经焙烧后可供硫酸法生产钛白。

- 6) 铁处理：出炉的铁水含有硫，经铁水包转运到均热炉积存，随后再转运到“摇包”中加脱硫剂（石灰）或是同时加碳处理，制得生铁或是低碳钢。

3. 试验用电炉

试验用的电炉如图4所示。其技术性能是：

形式：一电极单相电炉

功率：150~200KW

电极：石墨电极

直径 200mm

内衬：碱性材质

电炉开炉熔炼投料 30~100 吨，每周工作 5 天，每天连续工作 24 小时。据介绍，所取得的数据可以达到工程扩大 100 倍的技术效果。

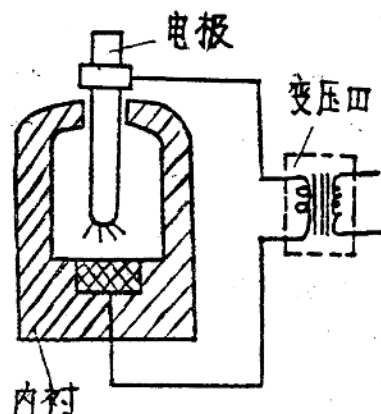


图 4 单相电炉

4. 原料、中间产品和成品的技术性能

1) 钛铁精矿：

化学成份 (%)：

成份	TiO ₂	FeO	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	MgO	Al ₂ O ₃
%	45	34.3	12.1	2.4	4.6	0.7
成份	S	P				
%	0.03	0.022				

2) 预还原料：

化学成份：

成份	TiO ₂	Ti ₂ O ₃	ΣFe	Fe	SiO ₂	MgO
%	49.3	14.5*	38.8	29.4	3.15	5.09
成份	CaO	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	P ₂ O ₅	S	C
%	0.39	0.89	0.07	0.026	0.22	0.5

筛分析：

mm	+15	+10	+5	+3
%	7	30	80	97

3) 成品钛渣：

化学成份：

成份	TiO ₂	Ti ₂ O ₃	ΣFe	Fe	FeO	SiO ₂
%	75.4	12.9*	7.7	1.75	7.6	5.35
	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	MnO	V ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃
	1.19	0.66	7.92	0.45	0.25	0.088
	P ₂ O ₅	S				
	0.003	0.13				

筛分析:

目 mm	+10	+6	+20	+35	+60
%	3.8	20.20	32.5	46.7	67.8
	+200				
	92.2				

4) 出炉生铁:

化学成份:

成份	C	Si	Ti	P	S
%	0.28	0.041	0.018	0.025	0.42

金相分析:

元 素	Ti	V	Cr	Mn	As	Mo	Sn
PPM	<5	<40	≈75	<20	约 50	>1	>1
	W	Pb	Co	Ni	Cu		
	约<50	≤5	0.02	0.03	0.015		

(注: *——为 Ti_2O_3 换算为 TiO_2 的数据。)

(三)对钛渣电炉的意见

埃尔克姆公司对以上所述钛渣生产技术的研究成果,至今尚未提供给国内外的厂家进入工业化生产。因此,就生产钛渣的主体设备——电炉,他们提供了如下意见:

1) 关于电炉电气参数:

三相电炉功率:

$$N = 3RI^2 \dots\dots\dots (a)$$

式中: R——炉料电阻。

I——电极电流。

按已有的经验, R 是不均匀的, 随装料的差异和熔炼进程而变动。R 的变动导致 I 变化。也就是影响到炉子运转的稳定性。I 变化的幅度, 极大值 (I_{max}) 和极小值 (I_{min}) 相互间的经验式为:

$$I_{max} = 0.6^{-1} I_{min} \dots\dots\dots (b)$$

I_{min} 实际上是电炉长期稳定运转的电极电流数值。对于特定功率的电炉, 进行工业设计时, 要首先确定 I_{min} , 随后按 (b) 式计算出 I_{max} , 根据 I_{max} 便可确定其它参数。

2) 原生矿采选出来的钛精矿杂质含量高, 熔炼高品位的钛渣比较困难。6000~9000KVA

的电炉，既可炼出 TiO_2 含量 80~82% 的钛渣，也可以炼出 TiO_2 含量 75~77% 的钛渣，而在 1 万 KVA 以上的大电炉，炼 TiO_2 含量 75~77% 的钛渣比较容易。炼 TiO_2 含量 80% 以上的钛渣就很困难。

3) 电炉炉料炼前处理工艺直接影响电炉容量的选择。比如年处理 5 万吨钛铁精矿的工厂，若采用预还原热料熔炼工艺，只需要建 9000~6000KVA 的电炉一座；若采用冷炉料直接熔炼，则要建 1.5~1.8 万 KVA 的电炉一座。

五、铁合金生产现状及其设备

(一)概 况

PEA 铁合金厂建在波斯贡城的一个伸向内海的半岛上，占地面积 1.5~2 平方公里左右，它是挪威铁合金生产的最大厂家，属于埃尔克姆公司的一个分厂。该公司在这个分厂占有 96.6% 的股份。该厂现有人员 330 人，其中操作工人占 60% 左右，机械、电气、仪表技术人员占 27%，管理人员占 10%。

该厂在 1915 年开始生产 40% Fe-Si, 45% Fe-Si, 前几年还生产了 92% Fe-Si, 现在又生产炭素 Fe-Mn, Si-Mn 和中炭 Fe-Mn。第二世界大战后随着欧洲工业的恢复，该厂铁合金的产能不断增加，同时电炉设备也进行了更新换代。到 1972 年全厂电炉总容量已达到 72 兆瓦，铁合金总产量达 17 万吨，占这个公司总产值的 28%。近二年由于市场的原因厂里只保留了四台电炉，总容量为 11.25 万 KVA。铁合金总产能为 16.7 万吨。实际它们只开了三台电炉，铁合金总产量已下降到 16 万吨。产品的 90% 外销给西德、英、美等九个国家。他们生产的钛合金质量标准见表 2。

表 2

元素 产品名称	Mn	Fe	Si	C
炭素 Fe-Mn	76-79	12-14	0.1-0.5	6.5-7.5
Si-Mn	68-70	8-14	18-20	1.0-2.0
中炭 Fe-Mn	80-85	13	0.5-1.5	1.0-1.5

(二)生产工艺

1、生产工艺特点

该厂生产铁合金所用的矿是从巴西进口。所以该厂为提高 Mn 的实收率和使工艺合理化，他们采用三联法冶炼工艺。其联合作业方法见示意图 5

2、炉子操作情况

该厂生产铁合金的工艺过程与同类厂大同小异。都是由原料准备，配料通过提升机或皮带运输机送到炉顶料仓，待加入炉内。不过该厂有以下特点：

1) 该厂电炉均在密闭条件下冶炼而且从炉料准备、配比、运送、加料都是由一个电子计算机程序控制来完成的。根据炉料下沉的情况炉口分布 12 个下料管，由于炉料下沉的快慢不同，炉口局部表面温度不同，计算机就可以控制陆续向冒火的地方压料，达到一定的料

层即停止压料。冶炼中，炉料的加入和控制，冷却水系统的流量和水温的调整，电炉送电，电极的升降，炉气收尘系统的自控，炉料成份的调整和成品质量的控制等，都是由电子计算机程序控制完成的，所有的数字均由电视显象记录的。因此，它有效地保证了电炉正常熔炼。

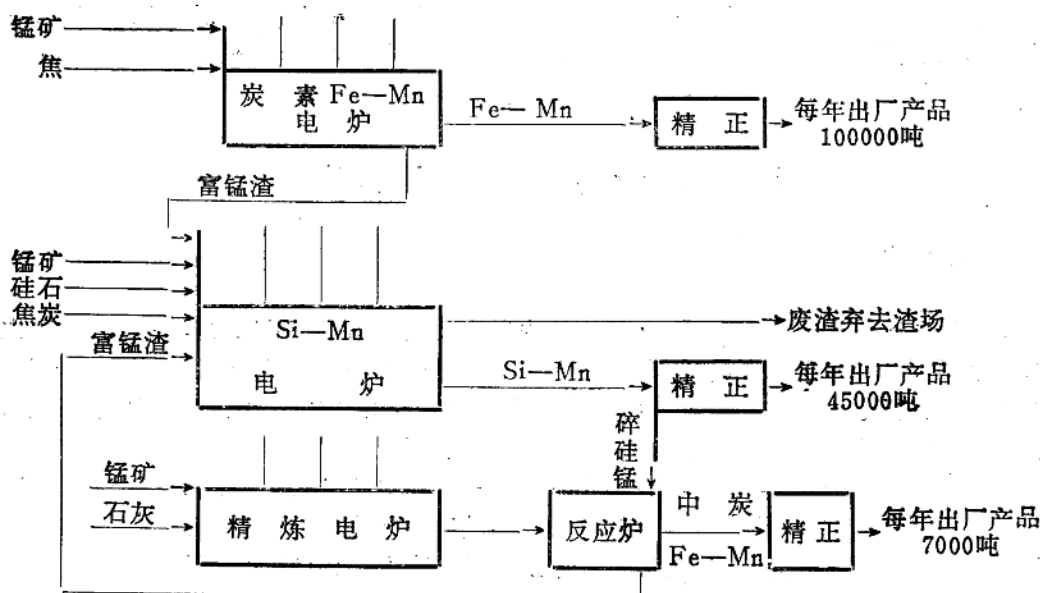


图5 PEA铁合金厂生产工艺示意图

在操作室里由一名工人通过计算端点高速打印及带式记录盘来操作，这一记盘每小时可提供2万个数据。详见后面程序控制示意图。

2)该厂出炉的Fe—Mn，Si—Mn都是用精正后的碎合金(>10mm)来构筑放铁池的，它既经济又无异物混杂，这种碎合金由于不断增加可以将一部份转到精炼炉生产中炭Fe—Mn。出炉后的富锰渣也是用冷渣碎块构筑放渣池。每八小时放铁、放渣2~3次，由炉上操作室根据熔炼记录通知炉下操作工进行。

(三)单耗与经济效果

列于表3，表中所列数据，除锰合金中电耗与工厂成本是工厂提供的实际数据外，其余各项数据均是Elkem公司设备鉴定书中所列，仅供设计参考。

据工厂提供的工厂成本中，锰矿的消耗费用是主要的，可占成本的60~70，还原剂占10%、电力占10%，其它费用占10%左右。

(四)电炉设备

埃尔克姆公司研究发展的铁合金电炉具有现代化水平，称作“Elkem电炉”。据介绍，世界上50%的电炉设备和技术都是他们提供的。容量为0.48~7.5万KVA的电炉都被国内的厂家应用来冶炼镍铁、生铁、钢、冰铜、纯硅以及各种铁合金。三电极圆形炉(固定密