

# 攀西地区金属钛产业生产技术现状及发展思考

邹建新<sup>1,2</sup>, 刘杰慧<sup>1</sup>, 邹清栋<sup>3</sup>, 彭富昌<sup>2</sup>

(1. 成都工业学院, 四川 成都 611730)

(2. 四川省钒钛产业发展研究中心, 四川 攀枝花 617000)

(3. 天津城建大学, 天津 300384)

**摘要:** 攀西地区是我国重要的钒钛基地, 目前钛产业链基本完整, 今后的发展方向是高端金属钛产业。调研了攀西地区金属钛产业的生产技术现状, 剖析了目前钛金属产业在生产工艺和装备上存在的技术壁垒, 针对攀西地区金属钛产业需要重点攻关的氯化钛渣、四氯化钛、海绵钛、钛材、钛粉等产品的关键生产技术, 提出了发展思路。

**关键词:** 攀西地区; 金属钛; 生产现状; 发展思路

中图分类号: TG146.23

文献标识码: A

文章编号: 1009-9964(2021)04-043-06

## Status and Thoughts on Development of Production Technology of Titanium Metal Industry in Panxi Area

Zou Jianxin<sup>1,2</sup>, Liu Jiehui<sup>1</sup>, Zou Qingli<sup>3</sup>, Peng Fuchang<sup>2</sup>

(1. Chengdu University of Technology, Chengdu 611730, China)

(2. Sichuan Vanadium and Titanium Industry Development Research Center, Panzhihua 617000, China)

(3. Tianjin Urban Construction University, Tianjin 300384, China)

**Abstract:** Panxi area is an important vanadium and titanium base in China, and the titanium industry chain is basically complete, the high-end titanium metal industry is its future development direction. The production technology status of the titanium metal industry in Panxi area was investigated, and the technical barriers in the production process and equipment of titanium metal were analyzed. In view of the key production technologies of titanium chloride slag, titanium tetrachloride, titanium sponge, titanium mill products and titanium powder that need to be addressed in the titanium metal industry in Panxi area, the development ideas were put forward.

**Key words:** Panxi area; titanium metal; production status; development ideas

攀西地区(主要包括攀枝花市、凉山州片区)是国内外著名的“钒钛之都”, 该区域的钛产业起步于钛矿, 发展于钛白, 目前专注于金属钛。现已建成的钛产业主要包括氯化钛渣、四氯化钛、海绵钛、钛锭, 而钛材、钛粉等产业尚处于起步阶段。与宝鸡、西安等地的金属钛产业相比, 攀西地区在工艺与装备方面存在明显差距, 甚至存在空白<sup>[1]</sup>。本文分析了攀西地区金属钛产业生产技术现状, 剖析存在

的问题, 提出了钛及钛合金关键生产技术发展思路, 对今后攀西地区金属钛产业的发展具有指导意义。

### 1 工艺与装备技术现状

在钛渣生产方面, 既有企业以云南低钙镁钛精矿为原料, 采用 10 000 kVA 以下石墨电极电弧炉生产高钛渣(TiO<sub>2</sub>品位 88%~92%), 也有企业以攀西本地高钙镁钛精矿为原料, 采用 25 000 kVA 大型钛渣电弧炉(乌克兰引进)生产氯化钛渣(TiO<sub>2</sub>品位 74%~82%)。对引进的钛渣电弧炉进行了多项改进, 将大型自焙电极改为石墨电极, 并采用了多点多时布料、间断冶炼工艺、挂渣制度、长寿化炉体结构技术。此外, 针对不同粒度的钛精矿, 采用不

收稿日期: 2021-01-31

基金项目: 四川钒钛产业发展研究中心开放基金(2018VTCY-Y-08); 成都工业学院博士基金(2019RC006); 成都工业学院科研基金(78)

通信作者: 邹建新(1968—), 男, 教授。

同的入炉处理工艺,微细粒级钛精矿先造球再入炉,普通粒级钛精矿则直接粉料入炉。同时,对电炉出渣口、出铁口的材质和结构,以及电极结构与绝缘材料进行了优化,获得了较好的经济技术指标<sup>[2]</sup>。

在海绵钛生产方面,主要工序与国内其他地区相似<sup>[3]</sup>。表1对攀西地区各企业海绵钛生产工艺进行了对比。氯化工序既有采用沸腾氯化技术,也有采用熔盐氯化技术,四氯化钛精制过程主要采用铝粉除钒方法。攀钢集团有限公司海绵钛分公司(以下简称攀钢海绵钛厂)采用熔盐氯化法生产四氯化钛,还原蒸馏采用I型炉半联合工艺技术,而攀枝花钢铁集团有限公司钛业分公司(以下简称钢企海绵钛厂)和攀枝花力兴钛业科技有限公司(以下简称攀枝花力兴钛业)2家海绵钛企业采用沸腾氯化法和倒U型还蒸炉技术。其中,熔盐氯化工序采用了单炉产能160 t/d的大型熔盐氯化炉,炉子寿命达到41个月,实现了全攀西高钙镁钛渣入炉氯化技术突破,

钛渣TiO<sub>2</sub>品位达74%~78%。但是,该钛渣中钙镁含量达到8%,远超国内外主流氯化工艺对钛渣中钙镁含量的要求。沸腾氯化采用的是 $\phi 1.2 \sim 2$  m无筛板氯化技术。粗四氯化钛精制工序采用了精制残液水解和泥浆蒸发回收处理技术。在还原-蒸馏工序,I型还蒸炉单炉产能为7.5 t,还蒸过程采用氩气净化系统,氩气全部净化后使用,还原副产物氯化镁采用的是机械密封与特殊阀门开启控制的下排方式;倒U型还蒸炉单炉产能为5~8 t。

3家企业所采用的镁电解生产技术均不相同,流水线电解槽和多极电解槽均被使用。攀钢海绵钛厂220 kA流水线镁电解槽技术采用了双电解室、下插阳极、集中加料的头槽、集中出镁的尾槽、连续精炼等一系列设备和措施,实现了大循环系列电解槽的建立与稳定运行控制,电解槽寿命可达40个月<sup>[4]</sup>。但从实际运行情况来看,多极电解槽运行效果更好。

表1 攀西地区各企业海绵钛生产工艺对比

Table 1 Comparison of titanium sponge production technology in Panxi area

企业	原料	氯化	精制	还原-蒸馏	镁电解
攀钢海绵钛厂	75%~80%钛渣	$\phi 2.5 \sim 3.5$ m 熔盐氯化	铝粉除钒-填料塔	7.5 t I型炉	220 kA 流水线
钢企海绵钛厂	91%高钛渣	$\phi 1.2 \sim 2$ m 无筛板沸腾氯化	铝粉除钒-填料塔	5~8 t 倒U型	110 kA 多极槽
攀枝花力兴钛业	91%高钛渣	$\phi 1.2 \sim 2$ m 无筛板沸腾氯化	铜丝除钒-浮阀塔	5~8 t 倒U型	180 kA 无隔板

表2给出了攀西地区各企业海绵钛生产消耗指标。伴随技术进步与企业兼并托管,这些指标也在不断优化<sup>[4]</sup>。针对三废处理,钢企海绵钛厂采用制钙工艺,解决了尾洗碱液的处理问题;利用废盐酸

处理尾洗废盐水,有效实现了废物的综合利用。针对熔盐氯化产生的大量副废,攀钢海绵钛厂开发了氯化废盐系列综合利用技术与装备,可以二次利用氯化钠、碱式碳酸镁等物质,仅产生少量常规固废。

表2 攀西地区各企业海绵钛生产消耗指标对比

Table 2 Comparison of consumption indexes of titanium sponge production in Panxi area

企业	高钛渣 (t/t-Ti)	煅后焦 (t/t-Ti)	液氯 (t/t-Ti)	金属镁 (kg/t-Ti)	综合电耗 (kWh/t-Ti)	新水 (t/t-Ti)
攀钢海绵钛厂	2.62(TiO <sub>2</sub> 品位77.8%)	0.571	1.08	70	28 000	235.5
钢企海绵钛厂	2.32(TiO <sub>2</sub> 品位89.24%)	0.720	1.36	60	22 350	225.4
攀枝花力兴钛业	2.25(TiO <sub>2</sub> 品位91.0%)	0.650	1.72	70	30 000	450.0

在钛锭生产方面,既有企业采用电子束冷床炉(EB炉)熔炼,也有企业采用真空自耗电极电弧炉(VAR炉)熔炼。攀枝花云钛实业有限公司(简称攀云钛公司)从乌克兰引进了1台EB炉,功率为3150 kW,产能可达4000 t/a,并围绕EB炉配备了压块料机、烘干炉、带锯床、龙门铣床、超声波探伤仪、

高压水切割机等完整的配套设施。目前,攀云钛公司第2台和第3台EB炉已建成并试产。这2台自建的EB炉融合了乌克兰先进的电子束枪控制、电子束枪冷却及真空系统等技术,实现了从电子束枪、电子束扫描控制、高压电源柜等关键系统到进料方式、循环冷却、真空抽取及拉锭控制等配套系统的

全流程国产化,单锭锭宽可达 1550 mm,长度可达 10 m,单锭质量可达 15 t,使我国成为继乌克兰、德国、美国之后拥有 EB 炉制造技术的国家。攀钢集团公司已着手在江油基地建设年产 5000 t 钛坯、年回收残钛 2000 t 的 EB 炉生产线,作为钛钢联产的原料供应源。

攀钢集团江油长城特殊钢有限公司(简称长城特钢)采用国内主流的 VAR 熔炼技术,拥有真空感应熔炼炉、真空自耗电弧炉等特种冶炼设备(主要为 3 t 和 10 t),拥有配套齐全的钢包精炼炉(LF 炉,40 t)、真空吹氧脱碳炉(VOD 炉)等炉外精炼设备,拥有 80 MN 油压机、自动称混料系统、真空等离子焊箱。其中,真空等离子焊箱真空度可达 1 Pa,可焊接直径 470 ~ 920 mm、长度 6 m、质量 12 t 的电极;80 MN 油压机可压制密度  $3.6 \text{ g/cm}^3$  以上的电极,单块电极质量 200 kg,压制时间小于 3 min<sup>[5]</sup>。

在钛材生产方面,攀钢集团公司本部、长城特钢和攀钢西昌二基地均可进行钛材轧制。主体生产线包括精密无缝钢管生产线、棒线材连轧生产线、锻钢生产线及钛材专用生产线,这些生产线有利于实现钛钢联产。主体装备有 45 MN 液压锻造机、3150 t 热挤压机组、 $\phi 825 \text{ mm}$  初轧机、1000 t 立式穿孔机及 2000 t 锻压机等。

攀钢集团西昌钢钒有限公司借鉴日本钛钢联产的经验,利用空闲轧机进行钛材轧制。总体来看,钛钢联产有利于发挥闲置产能,但由于轧制参数调整频繁,导致钛材质量不稳定。长城特钢针对钛合金大断面坯料在轧制中头尾存在大温降而影响轧制稳定性和产品质量的问题,采用高速轧制技术,成功生产出单盘质量 1 t 的  $\phi 8.0 \text{ mm}$  钛合金线材。

攀枝花嘉翔钛业科技有限公司采用传统穿孔工艺,经过棒坯钻孔、加热、挤压、轧制、退火、矫直等流程,可生产医用及航空工业用微小口径钛毛细管。经优化工艺参数后,可获得 0.8 ~ 8 mm 全系列口径钛管。攀枝花驰辉钛锆金属材料有限公司采用钛丝冷拔、钛丝热拔、超细水拉丝等技术生产钛丝材,实现了钛材精加工零的突破。攀枝花博钛科技有限公司建设了型材、丝材加工生产线,可生产钛合金异型材,弥补了非主流钛型材产品的欠缺<sup>[6,7]</sup>。攀枝花市天民钛业有限公司(以下简称天民钛业)拥有 VCF1.5T 真空自耗电弧炉、VSC-150KG 真空自耗电弧电极凝壳炉、VAF-1215 立式真空除气炉、

20 MN 海绵钛挤压机等生产设备。采用石墨型铸造工艺、锻造及挤压锻造工艺生产钛铸件和钛锻件。存在的问题主要是自耗电弧炉和凝壳炉的生产能力有限。

在钛粉生产方面,四川恒珩新材料科技有限公司采用常规氢化脱氢工艺,利用氢化脱氢设备、粉末粒度及其分布控制系列设备,经过氢化、破碎、球磨、脱氢、球化、分级、脱氧等工序,生产钛粉末冶金、3D 打印等钛近净成形技术所需的 20 ~ 250  $\mu\text{m}$  的球形钛粉。天民钛业基于普通氢化脱氢技术的 100 t/a 钛合金粉末制造中试及产业化项目已建成试车。攀云钛公司正着手建设超高速等离子旋转电极法制备球形钛粉生产线<sup>[8,9]</sup>。

## 2 攀西地区金属钛产业存在问题

### 2.1 钛及辅助原料生产技术与装备

在钛及辅助原料生产技术与装备领域,存在氯化钛渣原料质量不高的问题,特别是钙镁含量太高;部分氯碱需外购,NaCl 全部需要外购;除攀钢海绵钛厂外,其他公司所需金属镁主要靠外购;攀枝花辉达镁业有限公司利用白云石生产金属镁,产能规模为 2000 t/a,但镁锭纯度不能满足需求,亟需提高;四氯化钛氯化与精制的产品纯度需提升,产品成本也需降低,副废泄露现象亟需杜绝;钛渣生产普遍采用中小型电炉(1800 ~ 6300 kVA),炉型为敞口预焙电极,不能回收煤气;除攀钢海绵钛厂外,其他企业的  $\text{TiCl}_4$  生产均选用沸腾氯化炉,规格从  $\phi 1.2 \text{ m}$  到  $\phi 2.0 \text{ m}$  不等,与国外  $\phi 4.8 \text{ m}$  的沸腾氯化炉相比在产能和控制水平上存在较大差距<sup>[2]</sup>。

### 2.2 海绵钛生产技术与装备

在海绵钛生产技术与装备领域,7.5 t 的 I 型还蒸炉规格在国内外还算较大,但倒 U 型还蒸炉规格偏小,8 t 乃至 12 t 还蒸炉是发展趋势;海绵钛还原过程中工艺参数有待优化,散热效果需进一步提高,这关系到  $\text{TiCl}_4$  加料速度,影响还原周期,也影响海绵钛 0 级品率的提高;海绵钛破碎工艺也待改进,破碎设备需升级改造,其不仅直接影响到温升效应,还决定了海绵钛的氧化程度;镁电解与精炼在海绵钛生产成本中所占比重较大,但生产流程尚不够顺畅,先进的多极槽技术是未来发展趋势<sup>[10,11]</sup>;残钛回收率较低;需通过对整条生产线进行技术优化来解决环保问题<sup>[4]</sup>。

### 2.3 钛锭生产技术与装备

在钛锭生产技术与装备领域,大规格的 VAR 炉熔炼是行业内的主流技术,而攀西地区的 VAR 炉规格较小(主要指长城特钢),影响钛锭中 O、N 等杂质含量。EB 炉是国内外高品质钛锭熔炼的首选设备,虽然攀云钛公司已建成 3 条 EB 炉生产线,但 EB 炉熔炼工艺尚不够成熟,操作人员生产经验不足。攀西地区的海绵钛电极块焊接技术水平不高,影响熔炼成本和产品质量。

### 2.4 钛材生产技术与装备

在钛材生产技术与装备领域,存在加工过程损耗高(有的损耗率达到 50%)、成材率低、加工材力学性能不高等问题;铸造缺陷偏大、精密铸造精度不高,制约了铸件制品在高端领域的应用;各种管道、弯头、三通、法兰、焊环、换热器、反应釜等钛制品的加工精度还需提高,功能也有待完善;钛丝、钛管精加工生产经验缺乏。在攀西地区采取钛钢联产模式运行初期,这些技术难点亟待解决。

### 2.5 钛粉及其制品生产技术与装备

在钛粉及其制品生产领域,攀西地区刚起步。对于传统的氢化脱氢技术,还有待进一步消化、吸收。天民钛业钛合金粉末制造中试线工艺流程虽已打通,但关键环节参数尚待优化改进。建设之中的等离子旋转电极法生产线要顺利投产,还需解决一系列工程技术问题。攀西本地研发机构已对该生产技术做了一些前期研究,有了一定的技术储备。如攀钢研究院通过感应线圈加热,将钛棒熔化,再通过高压气体将熔化后的液态钛“吹碎”形成小液滴,下落凝固成为球形粉末,从而在实验室打通了电极感应气雾化法制备球形钛及钛合金粉末的工艺流程,但该技术尚需产业化验证。在粉末冶金制品生产上尚未涉足,在高端 3D 打印用球形钛粉的生产上,研发工作也刚起步<sup>[8]</sup>。

### 2.6 环保

金属钛产业的主要污染物包括氯化渣、尾氯、热空气、硅化物、氯化铁、盐酸雾、洗渣水、熔盐渣和废耐火材料等。其中,非热平衡状态排渣的影响更为突出。为此,必须强化工艺管理,对危废渣采取专业渣场储存,杜绝泄露。

## 3 攀西地区金属钛产业发展思路

### 3.1 钛原料及辅料生产工艺与装备方面

提高高钛型高炉渣高温碳化-低温氯化提钛技

术的产业化技术经济指标,发挥热态高钛型炉渣的优势,设法降低  $TiCl_4$  原料成本;逐渐通过优化、技改,将钛渣电炉功率提升至 12 500 kVA 以上;扩大沸腾氯化炉规格,逐渐向  $\phi 4.8$  m 规格的国际标准靠拢;促进低品位高钙镁钛渣熔盐氯化制取  $TiCl_4$  工艺与装备技术走向成熟,在钛矿原料供给充分、钛渣成本明显降低、可以使用  $TiO_2$  品位低至 74% 的攀西本地高钙镁钛渣熔盐氯化制取  $TiCl_4$  的基础上,重点研究氯化过程中的流体场分布及其对氯化过程的影响。针对高钙镁低品位钛渣熔盐氯化过程中产生的尾氯、盐酸雾,尽快提出废气处理的产业化解决方案<sup>[4]</sup>。

利用盐酸可以回收循环使用的特点,攻克盐酸法生产氯化用富钛料产业化成本偏高的难题;针对使用低品位高钙镁钛渣熔盐氯化制取  $TiCl_4$  带来的氯化钛渣原料品位显著降低而造成的废熔盐量明显增加问题,开展熔盐氯化法废熔盐处理技术研发,确保环保达标;针对铝粉除钒效果较好但成本较高的问题,开展低成本有机物除钒技术研发。

### 3.2 海绵钛生产工艺与装备方面

进一步优化镁热还原法生产高品质海绵钛的工艺与装备,针对传热过程对产品品级和生产效率的影响,重点研究还蒸过程中温度场的分布及其对还原过程的影响,缩小 0 级海绵钛及航空航天用海绵钛与国外的差距,提高转子级海绵钛生产比率;通过技术改造,逐渐将倒 U 型还蒸炉的规格提升至 8~12 t,提高  $TiCl_4$  还原效率;优化海绵钛破碎与分拣技术指标,采用剪切式破碎和盘式破碎,避免破碎过程对产品质量的影响,解决破碎机粘齿、漏料问题,以机械分拣代替人工分拣,提高生产效率;攻克多极镁电解槽技改难题,逐渐将无隔板、流水线电解槽改造为多极槽,提高装备使用寿命,降低生产成本,保证流水线和多极式电解槽稳定运行<sup>[12,13]</sup>。

### 3.3 钛锭熔炼技术方面

改进大型钛电极块焊接工艺与装备技术,采用真空等离子焊接技术,提高焊接过程的可操作性以及自动化、智能化水平,提高焊接效率及焊接质量稳定性;对小型 VAR 炉进行技改,广泛使用 10 t 规格的大型 VAR 炉,提高生产效率,稳定钛锭浇铸质量;开展残钛回收熔炼试验,提高回收率,为回收利用长城特钢轧制产生的残钛奠定基础;开展大型

钛锭 VAR 熔炼技术研究, 针对 VAR 工艺中的电极-电弧-熔池系统, 分析电弧特性及热传输行为, 研究熔池表面温度、电弧弧长、熔炼电参数与电弧区、熔池表面状态的关系, 针对 VAR 工艺中的熔池-铸锭-坩埚系统, 分析熔炼电流、自感磁场分布、搅拌磁场对磁力和搅拌力的影响, 研究熔炼工艺参数对铸锭温度场、熔池形状、熔池流动行为及糊状区等的影响规律, 以期实现钛合金锭组织细化和成分均匀性控制<sup>[14,15]</sup>。

在电子束冷床炉熔炼方面, 进一步消化、吸收并创新电子枪熔炼技术, 积累更多的操作经验, 并应用于攀钢钒钛园区新建生产线; 开展等离子冷床炉(PAM)熔炼钛锭技术的研发, 以期得到化学成分和宏观凝固组织均匀的铸锭, 高效去除杂质, 提高成材率, 降低生产成本; 针对现有 150 kg 级凝壳-电极自耗炉容量过小的问题, 引进大型凝壳-自耗电电极熔炼与精铸装备, 满足高品质零部件精密铸造需求。

### 3.4 钛材及制品生产工艺与装备方面

开展钛合金等温锻造技术研发, 保证金属能够在变形期间充分再结晶, 降低变形抗力, 实现近净成形生产; 研发宽幅超厚钛合金板材加工技术, 包括成分设计、组织设计、性能设计、高精度板形-板厚控制、全断面组织均匀性控制等, 特别需要提升幅宽 2000 mm 以上热轧板和 1000 mm 以上冷轧板产品质量和批次稳定性; 进行超薄钛合金板材加工技术研究, 特别是长期依赖于进口的厚度小于 0.8 mm 的超薄钛合金板材, 重点研究原料和冷轧前工序缺陷遗传的影响规律及机理, 研究高精度板形、平整度和尺寸精度的控制技术; 整合国内钛加工企业的优势技术, 重塑熔炼、锻造、轧制、挤压等各环节的钛合金加工工艺, 打造批次稳定的高品质钛加工材供应链, 将钛材质量控制逐一分解到关键加工工序; 进一步提升和推进细钛丝、毛细钛管精加工技术的成熟度和产业化进程, 增大医疗及航空领域的供应量<sup>[16-18]</sup>。

开展大规格钛合金棒材的生产技术开发, 解决大规格钛合金棒材组织性能均匀性和批次质量稳定性差的问题; 以钛/钢复合板为切入点, 开展复合板组坯工艺(表面光洁度、隔离剂选择)、不同复合板种类的组料方式控制及轧制工艺、高精度板形-板厚控制工艺、钛/钢复合板的加热涨缩均匀性控制等

技术研发; 开发无包套的钛合金挤压型材生产技术, 减少铜金属消耗; 开展超薄板的激光焊接工艺研究、厚板/超厚板的真空电子束焊接、窄间隙磁控/浅弧 TIG 焊接以及搅拌摩擦焊接等工艺研发, 提升钛合金的焊接技术水平; 针对国内在钛合金型材、大型钛合金宽厚板、航空紧固件用棒材、紧固件用丝材、大型钛合金铸件等钛加工材在品种上还存在的缺项问题和产品品质问题, 加大产业化研发, 满足钛合金在航空航天等领域的应用需求; 加强钛基铸件与钛加工制品应用技术研究, 通过全寿命成本分析钛材的性价比, 建立应用示范工程, 转变用户观念, 拓展钛的应用市场<sup>[16-20]</sup>。

### 3.5 钛粉及其制品生产工艺与装备方面

掌握并提升氢化脱氢法制备低氧球形钛粉技术, 利用熔化状态下表面张力作用机制, 实现钛粉快速冷却而保持球形; 加大加快电极感应气雾化法的产业化中试, 尽快掌握这种全球工业化生产钛合金粉末的主要方法; 跟踪研发球形钛粉生产的旋转电极法, 贴近世界前沿生产技术; 在粉末冶金方面, 开发温压成形、注射成形、激光成形、喷射成形等钛粉近净成形技术, 进一步降低钛合金的生产成本, 提高钛制品的应用性能; 开发钛粉 3D 打印技术, 特别是 3D 打印钛合金部件所需的冷喷涂技术, 实现粉末原料的多次循环使用, 大幅提高粉末原料利用率<sup>[21]</sup>。

## 4 结 语

作为“中国钒钛之都”的攀西地区, 要将资源优势转化为经济优势, 除了发挥钛原料优势外, 只发展以钛白粉为主的钛化工产业, 不足以彰显钒钛基地的实力, 必须要在金属钛产业上拓展, 做大做强海绵钛工业, 做好钛锭熔炼, 做精钛材加工, 开发 3D 打印用钛粉项目。针对从四氯化钛到海绵钛, 再到钛锭, 最后到钛材的各个工序环节, 厘清生产技术路径, 分轻重缓急进行研发, 攻克技术难点, 最终实现攀西地区金属钛产业生产技术的进步。

### 参考文献 References

- [1] 贾翊, 逯福生, 郝斌. 2019 年中国钛工业发展报告[J]. 钛工业进展, 2020, 37(3): 33-39.
- [2] 马勇. 氯化渣冶炼技术开发与生产实践[J]. 四川冶金, 2014, 36(1): 28-30.

- [3] 狄伟伟, 刘正红, 孙虎民. 镁还原四氯化钛生产海绵钛过程传热分析[J]. 钛工业进展, 2011, 28(1): 25-29.
- [4] 姜宝伟. 攀钢全流程海绵钛工艺技术及其高品质生产[J]. 钢铁钒钛, 2019, 40(3): 164-168.
- [5] 方强. 攀长特连轧厂成功试制国内最大盘重 8.0 mm 钛合金线材[J]. 钢铁钒钛, 2020, 41(6): 124.
- [6] 王怀柳. 攀长钢公司钛材生产工艺、装备及产品[J]. 特钢技术, 2010, 16(4): 1-5.
- [7] 陶泓霖, 罗本平. 攀西地区首家高端钛合金管材生产企业投产[N]. 攀枝花日报, 2020-09-18(3).
- [8] 柴森. 开拓创新 做好高端金属粉末的引导者——记四川恒晖新材料科技有限公司创新之路[N]. 攀枝花日报, 2019-8-21(2).
- [9] 徐杨. 科技攻关 做好“钒钛”文章[N]. 攀枝花日报, 2018-12-17(3).
- [10] 黄子良, 任玉毅. 海绵钛生产中镁电解流水线槽和多极槽技术应用分析[J]. 钛工业进展, 2018, 35(2): 8-12.
- [11] 姜宝伟, 陈平. 海绵钛生产工艺中的多极性镁电解槽技术[J]. 钛工业进展, 2011, 28(5): 6-8.
- [12] 王天, 王耀武, 王宇, 等. 金属钛冶炼研究进展[J]. 中国有色冶金, 2020, 49(3): 1-6.
- [13] 王宏权, 鹏飞, 刘华, 等. 真空自耗电弧炉熔炼钛合金铸锭钨夹杂来源分析及对策[J]. 特钢技术, 2017, 23(1): 43-47.
- [14] 黄海广, 肖寒, 熊汉城, 等. 钛材低成本生产技术的开发和应用[J]. 云南冶金, 2020, 49(6): 59-67.
- [15] 邹建新, 彭富昌. 钒钛物理化学[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2016.
- [16] 史亚鸣, 黄海广, 李志敏, 等. 带钢热连轧机生产 TA10 钛合金带的轧制工艺[J]. 中国冶金, 2017, 27(8): 41-44.
- [17] 常辉, 周廉, 王向东. 我国钛工业与技术进展及展望[J]. 航空材料学报, 2014, 34(4): 37-43.
- [18] 朱道明, 孟祥林. 攀钢集团江油长城特殊钢成功试制出舰船用 TA2 纯钛管[J]. 钛工业进展, 2016, 33(3): 37.
- [19] 张涛. 国内外钛材专利技术分析[J]. 钢铁钒钛, 2017, 38(6): 158-164.
- [20] 黄先明, 王瑞琴, 谢文龙, 等. TA6 钛合金板材换向轧制工艺研究[J]. 钛工业进展, 2016, 33(5): 21-24.
- [21] 郭志猛, 张策, 王海英, 等. 基于氢化脱氢钛粉制备低成本高性能钛合金[J]. 钛工业进展, 2019, 36(5): 41-46.

## 行业动态

## ATI 及其子公司 2021 年第 2 季度经营状况

美国 ATI 公司 2021 年第 2 季度(2021 年 4 月 1 日至 6 月 30 日)销售额为 6.16 亿美元, 其中高性能金属部销售额为 3.01 亿美元, 较 2021 年第 1 季度增长 25%, 主要是由于航空航天以及能源市场的复苏; 先进合金 & 解决方案部销售额为 3.16 亿美元, 较 2021 年第 1 季度下降 30%。

表 1 ATI 及其子公司 2021 年第 2 季度经营状况

项目	2021 年第 2 季度	2021 年第 1 季度	2020 年第 2 季度	2021 年上半年	2020 年上半年
销售额/百万美元					
高性能金属	300.6	240.9	300.7	541.5	721.0
先进合金 & 解决方案	315.6	451.6	469.6	767.2	1004.8
合计	616.2	692.5	770.3	1308.7	1725.8
营业利润(亏损)/百万美元					
高性能金属	37.2	24.6	28.7	61.8	105.3
先进合金 & 解决方案	36.0	49.7	33.4	85.7	74.5
合计	73.2	74.3	62.1	147.5	179.8
营业利润占销售额的比/%					
高性能金属	12.4	10.2	9.5	11.4	14.6
扁平轧材	11.4	11.0	7.1	11.2	7.4
合计	11.9	10.7	8.1	11.3	10.4

注: 统计数据截至 2021 年 6 月 30 日。

(何蕾编译自美国 ATI 公司官网)