

钛合金的压力加工



钛合金的压力加工

Г · Е · 玛扎洛娃

А · З · 科曼诺夫斯基

Б · Б · 切丘林

С · Ф · 瓦热宁 著

1977

王旭译

江苏工业学院图书馆
藏书章

航天技术交流中心

《航天工艺》编辑部

内容简介

钛合金作为新兴的结构材料在原苏联国民经济各部门得到了广泛的应用，并取得了较高的技术经济效益。本书首先介绍了钛及钛合金的物理、化学、机械特性。总结了钛合金压力加工的多种工艺方法及实用工艺规范，载有重要插图及函数关系曲线图15幅，工艺技术参数的经验数据表28个，书后附有参考文献目录共108条。

全书共分九章。第一章对各主要牌号的工业用钛合金的机械特性及工艺性能、最佳使用条件有针对性地较为详细地作了说明。第二章汇集了钛合金在国民经济各部门的应用实例。钛合金可取代某些稀有贵金属、不锈钢及在强浸蚀介质中工作的或要求比强度值较高的零件及产品。展示了钛合金应用的广阔前景。第三章对钛合金加热引起的氧化皮、气体饱和层、渗氢等进行了分析与说明；阐述了变形温度对钛合金机械性能的影响，给出了变形温度、变形程度、金属组织、工艺塑性之间的相互关系曲线。第四章重点介绍了钛合金的自由锻造工艺规范，给出了多种牌号的钛合金采用不同的变形方法时应选取的合理的加热规范。第五章介绍了钛合金的热模锻、毛坯准备及模锻件的加热温度规范，变形温度、变形程度、变形速度是决定钛合金组织特性的主要因素；介绍了变形热效应对锻造温度、变形应力的影响，以柴油机连杆为例，介绍了模锻锤的单膛和多膛模锻；以钛合金阀门为例，介绍使用卧式锻造机械进行顶锻，以及锻压机床和压力机模锻的特点，给出了不同设备上对各主要牌号钛合金热模锻的加热温度规范，总结了 β -锻压的优点，最后介绍了锻造过程中克服粘结及实施润滑的有效方法。第六章介绍了钛合金高速成型的基本方法和优点，阐述了高速成形的变形结构特征。第七章介绍了钛合金的板材冲压工艺，包括弯曲、拉伸、成形、引深、冲裁及整形的冷冲压和热冲压，给出了各种板材最适宜的加热温度，对确定最佳模具间隙值、最小弯曲半径、毛坯

夹紧力、板材拉伸的最大减薄值以及材料的拉伸系数、翻边系数、压窝系数都给出了相应的计算公式或图表。第八章介绍了钛合金的热机械处理，是通过成套的热塑性加工控制金属显微组织而得到优良机械性能合金组织的有效方法。并从金属学理论方面作了分析和说明。第九章介绍了钛合金压力加工半成品的某些缺陷产生的原因及消除方法。

我国钛资源丰富，储量居世界前列，现已建成一批海绵钛生产厂，开发了约 45 种以上的钛合金，已列入国家标准的达 18 种以上，基本可以满足我国应用的需要。随着钛合金产品产量的不断增加，成本价格的下降，各种加工及成形技术的开发，其应用范围在不断扩展，尤其在航空航天事业中钛合金的应用更具特殊意义。钛及钛合金的压力加工技术近年来有了较快的发展。本书简要地综合介绍了苏联钛合金压力加工技术的现状及发展，对我国从事钛合金研究及应用的广大科学技术人员具有十分可贵的实用及参考价值，也可作为大专院校、中等专业学校教师及高年级学生的参考书。

目 录

第一章	钛及钛合金的基本概念	(1)
§1	物理及化学性能	(1)
§2	工业用钛合金的分类	(1)
§3	钛合金半成品的种类	(4)
第二章	国民经济中应用钛及钛合金的经济效益	(6)
§1	应用钛的技术经济依据	(6)
§2	钛在有色冶金业中的应用	(9)
§3	钛在黑色冶金业中的应用	(11)
§4	钛在化工及石油化工中的应用	(11)
§5	钛在纤维造纸工业中的应用	(13)
§6	钛在电镀技术中的应用	(13)
§7	钛在机械制造各部门中的应用	(13)
§8	钛在食品工业中的应用	(15)
§9	钛在医学方面的应用	(16)
第三章	钛合金毛坯的加热	(17)
§1	在空气中加热时形成氧化皮及饱和气体层	(17)
§2	渗氢	(19)
§3	毛坯的加热和冷却	(20)
§4	变形温度对钛合金塑性及机械性能的影响	(21)
§5	工具的加热	(25)
第四章	钛合金的自由锻造	(27)
§1	毛坯制造方法的选择	(27)
§2	锻造特性 工艺及设备	(27)
第五章	热模锻	(32)
§1	毛坯准备及模锻温度规范	(32)
§2	落锤模锻	(34)

§3	压力机锻压	(37)
§4	卧式锻造机的锻造	(38)
§5	润滑和粘结	(41)
§6	去毛刺	(43)
§7	表面清洗及清除饱和气体层	(44)
§8	模具的材料及其制造	(45)
第六章	钛合金的高速成形	(47)
§1	高速成形的的基本方法	(47)
§2	钛合金高速成形的优点	(48)
§3	钛高速成形结构特征	(50)
第七章	板材冲压	(54)
§1	工序总论 热处理及消除氧化皮	(54)
§2	制造模具的材料及润滑	(56)
§3	钛合金板材冲压的基本工序	(58)
第八章	钛合金的热机械处理	(67)
第九章	压力加工半成品的某些缺陷	(75)
	参考文献目录	(78)

第一章 钛及钛合金的基本概念

§1 物理及化学性能

在元素周期表中，钛的原子序数为 22，原子量为 47.90，原子体积为 10.6。

钛具有两种同素异型结构：低于同素异型转变温度（882.5℃）时为具有密排六方晶格的 α —异型体，高于同素异型转变温度时为具有体心立方晶格的 β —异型体。 α 型钛的密度为 4.505g/cm³， β 型钛的密度为 4.320g/cm³。

钛的特点是在很多腐蚀介质中都具有高抗蚀性，线膨胀系数小，热导率小，电阻率高和无磁性。

就强度来说，钛超过许多其它结构材料。钛的线膨胀系数小，保证了钛零件在温度剧变时能可靠地工作。

工业用钛合金的化学成分及其物理性能在参考文献[1、2]中有详细说明。

§2 工业用钛合金的分类

钛合金按其制造方法可分为变形钛合金及铸造钛合金；按强度的大小及塑性变形能力可分为低强度高塑性合金，中等强度及高强度合金；按用途可分为结构合金及耐热合金。

强度极限低于 700MPa(OT4-0、OT4-1、BT1-00、BT1-0)并具有较高塑性的合金属于高塑性钛合金系列。

牌号 BT1-00 的工业钛，由于强度不高，作为结构材料仅限于制造要求高塑性的零件。

牌号 BT1-0 钛，其塑性接近于 BT1-00 钛，和 BT1-00 钛一样具有高的抗蚀性。可在冷状态下进行板材冲压。

OT4-0 合金为 Ti-Al-Mn 系合金，用以制造板、条、带材、棒材、型材、管材、锻件及冲压件^{13~15}。此种钛合金用于以焊接、冲压、弯曲和其它方法加工的产品。板材冲压通常在冷状态下进行。由 OT4-0 合金制成的零件在腐蚀介质中具有高的抗蚀性。

OT4-1 合金也为 Ti-Al-Mn 系合金，可以制造锻件、冲压件、棒材、型材、管材、线材及其它半成品^{14~17}。OT4-1 主要用以制造板材半成品（结构及蒙皮用板材）。如果不要大的变形，板的冲压可在冷状态下进行。OT4-1 钛合金的锻造，冲压及轧制需在较高的温度下进行。该合金的特点是有较高的工艺塑性，良好的可焊性（可适合各种形式的焊接）。焊接接头的强度及塑性大致与基体金属相同。该合金在退火状态下应用。

强度极限为 750 ~ 1000 MPa 的钛合金属于中等强度合金（AT3、BT5-1、BT6C、AT4、BT20、BT3-1）。所有中等强度的钛合金均具有良好的可焊性及较为满意的热稳定性。适于制造焊接结构及部件。

AT3 为 Ti-Al 系合金，其中含有少量的 Cr、Fe、Si、B^[8]。AT3 合金可制造成棒材、锻件、板材、箔材、线材、热轧及冷轧管材。压力加工在高温下进行。用板材制造复杂零件时，采用热冲压的方法，而简单零件可在冷状态下冲压。AT3 合金仅在退火状态下使用。被推荐用以制造冲压焊接结构。焊接采用接触焊、氩弧焊以及电渣焊。焊接接头的强度比基体金属低 5% ~ 10%。AT3 与其它钛合金一样，在潮湿的大气、海水及多种腐蚀介质中都有优异的抗蚀性。

BT5-1 为 Ti-Al-Sn 系合金，工艺塑性低，但具有很好的高温强度。用以制造板材、厚板、锻件、棒材、型材及其它半成品。板的冲压也是在加热状态下进行。焊接可用手工氩弧焊、自动氩弧焊、埋弧焊和接触焊。热处理不能使该合金强化。在大多数浸蚀介质中具有很高的抗蚀性，适于制造冲压焊接结构。

BT6C 为 Ti-Al-V 系合金，用其制造板材、锻件、冲压件、棒材、型材及其它半成品。基本上在退火状态下使用。BT6C 合金在热变形的情况下具有尚为满意的塑性。锻件、冲压件及轧制件均在高

温下进行。板材冲压工序在加热状态下进行。该合金被推荐用于制造冲压焊接结构—高压容器。

BT20 为 Ti-Al-Zr-Mo-V 系合金。用来制造板材和厚板，此外，还可用来制造锻件、冲压件、棒材、型材及其它半成品。BT20 合金具有低塑性，板材冲压需加热到 $800 \sim 900^{\circ}\text{C}$ ，不能在冷状态下进行。BT20 合金可良好地进行氩弧焊、接触焊以及埋弧焊接。在空气及腐蚀介质中抗蚀性很高，适于制造冲压焊接结构。

BT6、BT3-1、BT16、BT22 及 BT15 合金经过淬火及时效处理均有很高的强度，构成高强度钛合金组。BT16、BT15 合金在热处理强化状态下使用。

BT6 合金为 Ti-Al-V 系合金。用以制造锻件、冲压件、棒材、型材及其它半成品。该合金的热态变形性良好，适用于钛的各种焊接形式。为了恢复焊接接头的塑性，焊接后必须进行热处理。可认为具有满意的切削加工性，在退火及热处理强化状态下具有很高的抗蚀性，被推荐用于制造焊接结构。

BT3-1 合金为 Ti-Al-Mo 系合金，并加有少量的添加剂 Si、Cr、及 Fe，为用来制造透平零件的耐热钛合金。目前用其作为结构材料，制造承载零件及结构件。热压力加工时具有良好的塑性，可用于退火状态，亦可通过淬火及时效处理而强化。BT3-1 合金用于钛的各种形式的焊接。为了恢复焊接接头的塑性，焊接后必须进行热处理，该合金可进行切削加工。BT16 合金为 Ti-Al-Mo 系合金，其特点是在退火或淬火状态下具有较高的塑性。用于使用冷墩方法制造紧固件用的棒材及丝材。BT16 合金还可制造板材、金属带、金属箔、薄壁管、型材以及其它等。用冷墩、压延及滚压螺纹制成螺栓后，不需再结晶退火。BT16 合金可在退火及冷作硬化状态下使用。在大气及浸蚀介质中具有很高的抗蚀性。

BT15 合金为 Ti-Al-Mo-Cr 系合金，是原苏联国产第一种 β 基钛合金。其特点是在淬火状态下具有很高的塑性，表现了立方晶格的材料所固有的特性，而时效后具有很高的强度。用该合金制造板材、条材、箔片、锻件、冲压件、棒材及型材。BT15 合金仅在淬

火及时效状态下适用。其锻造、冲压及轧制均在高温下进行；薄板、箔片、条带均在冷状态下轧制。板冲压需在高温下进行大的变形。BT15 合金能适用于各种形式的焊接。与其它钛合金相比切削加工有些困难。它具有很高的抗蚀性，可用来制造冲压焊接结构。

BT22 合金为加有 Cr、Fe 添加剂的 Ti-Al-Mo-V 系合金，无论在退火状态，还是在热处理强化状态下均有很高的强度极限。用于制造锻件、冲压件、棒材、型材、板材及管材。还可用来制造重达数吨的大型锻件及冲压件。锻造及冲压在高温下进行。该合金具有尚好的可焊性，可采用熔焊、氩弧焊和埋弧焊以及接触焊（滚焊及点焊）。焊接后必须进行退火。BT22 钛合金具有很高的抗蚀性，尚可适用于切削加工。用于制造高承载零件及冲压结构。表 1 ~ 3 列出了某些钛合金的主要机械性能^[9]。BT3-1JI、BT6JI、BT9JI、BT20JI 属于铸造钛合金。它们分别为变形合金 BT3-1、BT6、BT9 及 BT20 的铸态变体。

表 1 20 °C 温度下纯钛的基本机械性能

合金牌号	σ_B MPa	$\sigma_{0.2}$ MPa	δ % (不小于)	Ψ % (不小于)
BT1-0	350 ~ 500	300 ~ 420	30	60
BT1-00	300 ~ 450	250 ~ 380	30	60

§3 钛合金半成品的种类

由于钛合金具有可贵的物理、化学、机械及工艺的综合性能，且其半成品品种规格甚多，所以目前越来越广泛地应用于各个工业部门。用钛合金可制成冷轧板、带材、箔片、扁材、管材、热轧板材、棒材、冷拔管、挤压管及焊接管、锻造棒材、冲压件、焊接件及辗压环状坯件、焊条、挤压型材。

在文献[10]中引有技术文件目录，变形钛合金的半成品生产以及由工厂制造的各种钛合金工业产品都要遵照该技术文件的规定。

冲压件及锻件的形状和尺寸应当符合生产单位与用户间达成协议的图纸要求。图纸中预先规定检验类别、尺寸公差、机械加工余量、下料与切割的工艺余量、用于各种试验的试件下料简图及测量硬度的位置、指定打印记或涂色标的位置。

表2 退火状态下 α 钛合金的机械性能

合金牌号	锻件及冲压件				板材 (1~2mm)		型 材		
	σ_B MPa	δ %	Ψ %	a_k kg·m/cm ²	σ_B MPa	δ %	σ_B MPa	δ %	Ψ %
BT5-1	800~950	10~15	25~40	4.8	750~950	>10	800~1000	10	>25
OT4-0	500~650	15	45	7	—	—	—	—	—
OT4-1	600~750	15~25	35~70	5~12	600~750	18~25	600~750	12	>35
BT18	950~1100	14~22	24~54	2.0~4.5	1000~1200	10	—	—	—
BT20	—	—	—	—	1000~1150	10~12	920~1020	12~18	36~52

表3 $\alpha + \beta$ 钛合金的机械性能

合金牌号	半成品	退			火 状		态		淬 火 时 效		
		σ_B MPa	δ %	Ψ %	σ_{-1} MPa	a_k kg·m/cm ²	σ_B MPa	δ %	Ψ %		
BT3-1	冲压件	1040 ~ 1180	14 ~ 20	45 ~ 60	40 ~ 50	3 ~ 4	1150 ~ 1200	10 ~ 12	32 ~ 48		
BT6	冲压件	950 ~ 1100	10 ~ 13	35 ~ 60	—	4 ~ 4.5	1100 ~ 1250	6	20		
BT9	冲压件	1100 ~ 1300	8 ~ 14	—	—	2 ~ 5	1200	6	20		
BT16	板材 1 ~ 2mm	840 ~ 1040	8 ~ 22	—	—	—	1150 ~ 1350	4 ~ 16	—		
BT22	棒 材	1150 ~ 1370	10 ~ 17	20 ~ 65	—	—	—	—	—		

第二章 国民经济中应用钛及钛合金的经济效益

§1 应用钛的技术经济依据

如前所述，钛的应用范围正在各个工业部门中逐年扩展，其原因在于钛及钛合金一系列可贵的物理—化学特性及良好的可加工性能，有可能取代某些稀有的合金钢、有色金属、镍等。当然，单纯取代贵重材料是不够的，为了制造新型的高效能的机械，必须综合利用钛合金的特性。应用钛及钛合金的经济效果不仅表现在降低机械成本方面，而且还在于提高其与传统材料制造的同类产品的竞争力方面。

由于在运输、动力、矿山、农业、交通及机器制造业等以及其它门类的机器制造业中，目前尚未掌握运用钛及钛合金的足够的经验，所以提供了合理地分析确定经济效益的一般原则，并以一系列实例来证实所提出的原则。在各个工业部门应用钛合金的技术经济依据，首先是建立在较低的单位体积成本指标基础上的，衡量的标准为每平方米面积的金属腐蚀损耗值和加工一公斤产品的经济指标。更为重要的是强化生产过程和改善产品技术性能的可靠性。而原来价值是为评价经济效果确定的。

钛合金的半成品比其主要竞争者——不锈钢贵3~4倍，然而其强度却比不锈钢高得多；其金属的消耗量比不锈钢少 $2/3 \sim 3/4$ 。在大多数工业浸蚀介质中，应用钛及钛合金，产品单位面积上的金属腐蚀损耗费用比不锈钢低得多。因此，用钛及钛合金制造设备费用仅高于同类不锈钢设备费用2~3倍，而在许多情况下，其费用相当^[11]。

在使用设备时，由于应用钛合金而达到的主要收益中，有这样一些因素在起作用：在浸蚀介质中有无与伦比的高寿命，在增大负

载的情况下，有很好的可靠性以及高的抗腐蚀性能。为此，如能正确选择钛及钛合金的使用范围，即使在价格比较高的情况下，也能保证取得高的经济效益。

参考文献[11 ~ 17]的著者们曾多年分析研究各个工业部门使用钛的效果，指出了在钛及钛合金与不锈钢等类似材料竞争能力的经济核算方面所犯的错误。这些错误影响了钛作为结构材料的声誉，导致了对钛优越性不客观的评价。

A·И卡纽克列出如下最有代表性的错误：

对钛制品采用无根据的高使用期限（五十年或更长），而不考虑产品无形的老化问题；

传统材料制品使用期限仅根据折旧率标准确定，而不考虑降低十倍以至更多的实际时间；

用于钛制品的折旧率标准是用比传统材料制造的耐用产品低得多的标准制定的；

没有考虑到钛比钢密度小，仅根据材料单位重量价格进行成本核算，而不是根据单位体积来计算成本。

这些错误影响了计算的准确性，即不可能算出在国民经济中使用钛的真正经济效果及可以使用钛的范围。为此，在计算使用钛的经济效果时，必须采用标准方法。

如果其单位价值超过 50 卢布，此钛制品的费用就是有经济效果的投资指标。或者用使用较多年限折合成最小限度的费用值来判定。按照组建费用和推广新技术对每个方案作出具体判定的公式如下：

$$C_1 + E_H K_1 = \min$$

式中：

K_1 ——每个方案的投资额；

C_1 ——某方案的流动资金占用额（成本）；

E_H ——投资效果的定额标准系数。

指标 C_1 和 K_1 可以取其总值也可取其单位值。全年的经济效果决定于每个方案的折合费用的比较。

值得注意的是，应用钛制品本身取得的经济效果还不能完全证实使用钛制品的优越性，还必须达到八年或更短时间完成钛制品费用补偿成果的年计算补偿值。

计算其投资额时，在整体范围内（被转换成的钛制品或者设备），必须考虑到合理修正不同时期的投资额，籍助于《折旧率》B将比较晚年代的费用折算到第一运营年。《折算率》B的计算公式为

$$B = \frac{1}{(C_1 + E_{\text{н.п}})T}$$

式中：

T—折合时间周期（年）；

$E_{\text{н.п}}$ —不同时间费用折合标准定额（0.08）。

这样修正投资额度，在传统材料和钛使用期限有很大差别的情况下是有经济意义的。

如上所述，按照我们的意见，足以使应用钛合金的经济效果形成通则。为此可引多例为证，首先指出了在主要工业部门中的平均经济效果（以一个钛制品计算）。这些分析是以钛研究所曾经实践过的多年积累的实际材料为基础的，其中提出了切实采用新技术的特别恰当的例证。

计算结果得出，每吨钛制品每年创造下列经济价值：

有色冶金业 10 ~ 15 千卢布；

化学工业 10 ~ 33 千卢布；

电镀技术行业 30 ~ 40 千卢布；

纤维造纸工业 15 ~ 20 千卢布；

食品工业 7 ~ 10 千卢布；

黑色冶金工业 5 ~ 10 千卢布；

动力机械制造业 35 ~ 40 千卢布。

如上所述，主要经济效益的获得有如下因素：

节省了在修停留时间及修理费用；

采用多种浸蚀介质，高温、高压，即使工艺流程强化；

采用了更短的工艺路线，消除了腐蚀，改善了产品质量；

能够制造新型机械和产品，建立崭新的工艺流程、自动化和成套机械化；

延长了产品的使用期限。

§2 钛在有色冶金业中的应用

钛合金具有耐腐蚀特性，故应用于多种浸蚀介质中，不锈钢、耐酸钢都不能与其竞争^[14]。钛研究所的科学技术硕士Г·А科洛鲍夫、Ю·Ф多勃鲁诺夫、Ф·П伊万尼洛娃、А·А札哈列维奇、Л·С亚列缅科、Э·Д菲利波娃等人曾在著述中提出了扩大钛合金在有色冶金业中的应用范围。钛作为有色冶金产品，大大地促成了优质金属的获得和相关部门技术的进步^[15、16]。

通过对主要设备及辅助设备的工作分析表明，在有色冶金工业中有进一步扩大钛应用的潜力。由于延长使用期限及提高设备的可靠性，降低经济费用，提高了产品质量，因此在有色冶金工业中使用一吨钛轧制件，每年大约节省 5000 卢布^[10]。钛制设备广泛应用于镍—钴及钛—镁工业的企业中，广泛应用于铜、锌、铅、及锡、钨、钼、汞、铋、镉、金及其它贵重金属的生产；铝及硬质合金以及有色金属制备的多种企业中。一般常使用钛的轧制件，用它来制造大尺寸的重要用途的设备。钛作为板材及烧结件（附件、泵及其它）利用率也很高。

工业用钛泵取代铸铁或由耐酸钢制成的泵抽取氯化钾盐，氯化钠盐及含稀盐酸的氯化镁，其使用期限能提高 15 ~ 20 倍，降低液体的运输损耗 2.5 倍。这就使企业的每一台泵获得年利 900 ~ 1800 卢布^[10]。首先开始广泛使用钛制设备的是生产镍和钴的企业部门，使用钛制设备的目录共有二百多项，其中有过滤设备、压热器、蒸发器、反应槽、蓄水箱、分离器、水泵、阀门附件（止流配件）、风扇、型槽、氯喷射器、除尘器等等。

由于钛合金的特性优于其它结构材料，因此大量应用于钛—镁

工业。

在氯化车间，为将所产生的气体进行无害处理，安装了利用进入钛氯化器的残渣的凝集沉淀的泡沫发生器，得到了延长使用寿命达 20 年的预期效果。在镁的电解冶炼中，为抽取镁电解槽中被溶解的镁在电解中的升华物，将原铸铁泵改为钛泵，其使用期限由原来不超过 2 个月到现在的 5 年。可见在生产钛及镁的工厂的气体净化装置中可有效地使用钛制设备。

使用钛合金是延长稀有金属生产设备的使用期限，提高产品质量的有效方法。而设备的维护问题和生产纯金属的防腐蚀问题必须小心谨慎。在有色冶金的其他企业中也一样。由钛研究所提出的资料证实了利用钛制造耐腐蚀设备的可能性和前景，用钛制造换气通风设备，每年可节省 50000 卢布，稀土金属的生产是使用钛的未来领域。根据对钛进行的研究，建议用其制造反应槽、分离器、管道、阀门附件、泵、过滤器等。

除镍—钴及钛—镁工业部门外，制铜工业成为钛制设备的基本消费者，这是由于电解铜介质及硫酸生产中钛合金的高耐腐蚀特性。

钛应用于铅的生产能延长设备的使用期限及检修周期。用钛制造了通风装置、排烟管道、节流阀、电滤器零件。并进行了成功的试验。

在锌的生产中，采用湿法冶金，在锌精选机的沸腾层的炉中进行焙烧精炼。推荐下列设备可改用钛制造：气体管道、除尘器、电滤器、抽风机、排水槽、管道、水泵、凝结器、巴秋克槽、真空过滤器。

在有色冶金的工厂中，主要用钛作为贵金属及其它金属、塑料、不锈钢制品的代用品。推荐在盐酸及硫脲的含硫溶液中使用钛：交流换热法的离子交换剂小柱用钛替代再生树脂，热交换器的离子交换装置、凝结器槽、电化学法析出金的阴极、管路、运送液体的截止阀。还可用钛制造反应槽及其它设备，用于金刚石工业中的加工及选矿。

再生贵金属的生产中，建议用钛制造反应槽、BH-3 型真空

泵及抽风机、蒸发皿、过滤器、真空容器。

铝冶炼的特点是具有含氟离子及磨蚀剂的强浸蚀介质。在熔融电解时，高温及在氟离子介质中的情况除外，均可用钛制造主要设备及辅助设备，例如气体净化设备。

§3 钛在黑色冶金业中的应用

钛制设备用于炼钢、焦化、铁合金冶炼及其它工厂，可以延长设备的使用期限，强化原有的工艺流程，以获得纯净的优质产品。

在冶金、小五金、轧钢、拔丝—绳索、轧管等工厂内，为清除金属表面的氧化皮设有酸洗工段，根据钛研究所在查坡洛什钢厂的试验，推荐用钛制造排出废酸洗液的导管，通风系统以及酸洗作业的其它设备。尽管钛导管及设备费用较高，但仍能获得经济效益，这是因为在废酸洗液中钛的腐蚀速度不超过 $0.01 \sim 0.05\text{mm/a}$ ，钛导管寿命可达十年。用钛板制作硫酸的酸洗槽衬板是发展方向。橡皮衬板、辉绿岩砖及耐酸砖的槽池使用期限不超过三年，而用钛板制造可达十年，由此可见，虽然钛的成本高，但是，使用钛制酸洗设备还是经济的。

钛在二氧化硫中具有很高的抗蚀性（ $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ 温度下腐蚀速度为 0.008mm/a ），建议用钛制造气体净化设施中的电滤器，应用于焦化工业及铁合金工业。钛研究所和黑色冶金业的各个部门的研究所共同研究，积累了在黑色冶金工业及一系列基础工业中有使钛合金特性得到充分发挥的实验资料。

焦化工业因具有酸、碱性浸蚀气体，故其设备及管道的使用寿命大大缩短。钛在焦化作业的浸蚀介质中，其抗蚀性超过所有高合金不锈钢。所以在查坡洛什焦化厂中正在使用钛制结晶槽、泵、管道、溶解槽及硫代氰酸盐部分的其它设备。

4 钛在化工及石油化工中的应用