

钛的加工及应用实例

823

上海科学技术情报研究所

钛的加工及应用实例

*

上海科学技术情报研究所出版

新华书店上海发行所发行

上海商务印刷厂印刷

*

开本: 787×1092 1/16 印张: 5 插页: 1 字数:

1977年1月第1版 1977年1月第1次印

印数: 1—3,600

代号: 151634·331 定价: 0.65元

(限国内发行)

前 言

遵照毛主席“洋为中用”的教导，我们翻译了这本资料性著作。

本书系根据美国钛金属公司专著“钛设计参考书”1971年日译本第4版译出。全书分为6章，较为详尽地介绍了金属钛的各种性能、钛制设备的设计与加工知识以及各种典型钛制设备的使用性能与效果，并给出了钛在325种腐蚀环境中的耐蚀性数据，可广泛供从事化工、冶金、轻工等部门工作的有关人员参考。

由于译文时间仓促，水平有限，错误之处在所难免，恳请读者批评指正。

序 言

由于钛的耐蚀性、优良的比强度、疲劳特性、蠕变特性和抗污损的特性，使钛成为化工机械设备用的理想的结构材料。

第一、钛可以解决由腐蚀引起的机械的缺陷所带来的种种问题。这样，一般由于设备的停工时间得以减少，而有利于降低成本和增加产量。

第二、同历来使用的其他材料相比，可以采用更高的温度和压力，依靠钛的综合性能，新工艺便得以实现。

钛作为现代的结构材料具备广泛的适应性，能很好地满足设计上的各种性能要求。

目前，可以制造成分不同的 20 种钛材，所有这些钛材都能以薄板、带、板、棒、坯、丝、挤压成型件、铸件和无缝管、焊接管的形状供应。

钛在化学加工工业中使用的历史清楚地表明，钛制机械达到了可以信赖的高水平。这个历史可追溯到一九五四年，这一年，钛工业规模还很小，而钛已开始在暴露于氯化浆料的腐蚀与磨损之中的二氧化氯搅拌器的衬里中使用。这个搅拌器自交付使用以来，一直 24 小时地连续运转着，它的衬里的外观和买来时完全一样。

钛的价格特点是在过去十年间连续下降，这种倾向今后会继续下去。

制钛的工艺已合理确立的今天，钛的加工成本已与不锈钢差不多。

应用钛的特殊性能于机械设计中，例如，利用钛的高强度而改用薄壁管来增加热传导，能够减少所需钛的重量，进而会降低钛制机械的总成本。事实上，氯气冷却器的玻璃、盐水冷却器的石墨、苏打灰用釜的铸铁和盐水气化分离器的铜镍合金等等，都已被钛取代了。这是由于设计者为了得到最低成本的机械而高度评价了钛的性质。

目 录

一、钛的耐蚀性	(1)
二、钛的物理性质和机械性质	(17)
三、设计和加工	(31)
四、典型的钛装置	(43)
五、钛的耐蚀性数据	(55)
六、钛加工品的名称	(68)

第一章 钛的耐蚀性

耐 蚀 性

钛在氧化性、中性及腐蚀抑制剂共存的还原性环境中的腐蚀及局部腐蚀具有良好的耐蚀性。钛在强还原性酸或络盐中被腐蚀,但在弱还原性环境也保持着钝态。

另外,钛即使是在高温状态下,也保持着耐蚀性。因此钛广泛地应用在高温盐类、含水分的氯、硝酸、醋酸之类的腐蚀性环境中。在 325 种的腐蚀环境中实验的钛的耐蚀性试验结果如表 22~23 所示。

钛耐数伏电压作为阳极使用也保持惰性。于是,钛可用作阳极处理和电镀等电化学操作的阳极。为了改善钛的电学性质而镀以白金时,钛能够使用于制取氯的阳极、阴极防腐及燃料电池。

钛在海水中难免微生物的污染附着,但在附着物下,没有发现点腐蚀和晶间腐蚀。而且除去钛上的附着物一般还是比较容易的。

钛的耐蚀性一般是源于在钛表面形成的氧化膜。这种氧化膜坚固,即使破损也马上

再生。这种氧化膜象肉眼看不见的涂料膜一样,在高至 315°C (600°F) 温度下,能耐腐蚀及磨损那样的机械损伤而保护着钛。

在高于 315°C (600°F) 温度下,氧化膜变坏,在钛的表面形成蚀垢,结果钛就变脆。

氧化膜通过阻止在钛表面形成局部电池来防止腐蚀,在各种应用领域,作为抗生成物引起的污染的安全阀是有用的。

硝 酸

钛在硝酸中显示出非常优良的耐蚀性。表 1 就是表示钛在各种浓度的硝酸中的耐蚀性,钛即使是在高于 35% 的高浓度溶液中升温至沸点也显示出良好的耐蚀性。关于除示于表 1 的温度范围以外的高温高压时的钛的耐蚀性的界限,尚不能确认。在 65~70% 的沸腾硝酸中已报导的腐蚀速度一般在 0.076~0.229 毫米/年 (3~9 千分之一时/年) 的范围内,在静止状态的情况下,腐蚀速度低,在流动状态的情况下,腐蚀速度增快。作为最一般的腐蚀量可取 0.076 毫米/年 (3 千分之一时/年) 的数值。这些数值是用标准 Hucy 腐蚀实验 (捞起在沸腾硝酸中连续浸 48 小时后的试片,将腐蚀液更新后,五次重复同一操作的方法) 得到的。上述方法作为迅速腐蚀试验法,化学工业装置用户是感兴趣的,它表示了腐蚀速度的异常性。例如 2.79 毫米/年 (0.11 时/年) 的腐蚀速度用 Hucy 实验时,通过每 48 小时更新溶液,重复 3~4 次来确认。可是,不更换腐蚀液,生成少量 4 价的钛直接留下,而进行连续试验的情况下,在同样的试验时间里,腐蚀速度减少为 0.02 毫米/年 (0.0008 时/年)。即少量的四价钛的浓度,对

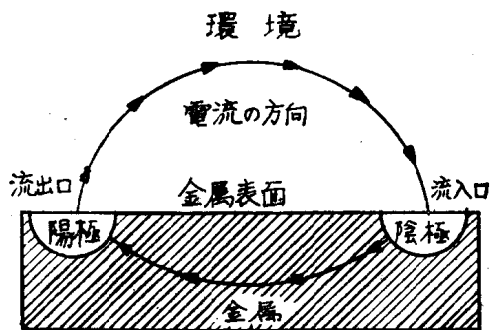


图 1 表示形成典型的局部电池而引起的腐蚀的循环过程的示意图。电子流常逆电流而行。具有绝缘性的钛的氧化膜阻止电流而使该循环过程停止。

加热硝酸中的钛的钝态化具有很大的影响, 这点是明白的, 4 价钛浓度增高的话, 那么腐蚀速度就降低。这个试验就是表示液中 4 价钛的生成速度是相对于酸量的钛的表面积的函数。采用在 20% 硝酸溶液中的研究室数据时, 在 165°C(330°F) 的温度下, 显示出的腐蚀速度约为 0.127 毫米/年(5 千分之一时/年), 在 288°C(550°F) 温度下, 则约为 0.305 毫米/年(12 千分之一时/年)。以上的腐蚀试验结果是表示在高温硝酸中使用钛的有利性。下面是表示在化学装置中的应用实例。把钛管作为在 193°C 温度, 21 公斤/厘米² (380°F, 300 磅/时²) 的压力下处理 60% 硝酸的冷凝器, 使用了两年以上没有看到产生任何腐蚀。再者, 作为在 180°C (356°F) 温度下, 处理 65% 硝酸的冷凝器使用时, 也得出同样的结果。热交换器及容器在 36.7°C (98°F) 的 40~60% 硝酸溶液中未作任何防腐, 操作了 3 年。在 67% 沸腾硝酸中, 钛焊接管即使到了四年也只有不成问题的腐蚀量。使用于褐色及白色两种发烟硝酸中的钛过滤器, 在 71°C(160°F) 温度下, 使用 170 小时后也几乎看不出重量减少。通常钛对硝酸具有良好的耐蚀性, 但把钛合金用于发烟硝酸的情况下, 必须在预先进行关于耐蚀性的试验之后使用。使用钛合金时有时伴随着着火反应。就这种着火反应的原因进行调查, 得到如下两个结论。

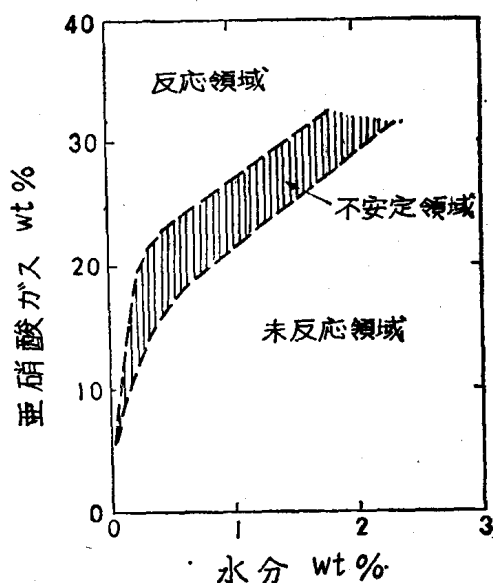
(1) 含有 1% 以下的水分或 6% 以上的 NO₂ 的发烟硝酸与钛合金发生激烈反应伴随着着火反应。

(2) 在着火反应以前显示腐蚀现象。图 2 表示有产生爆炸反应的可能性的不稳定区域。在研究室试验中, 发烟硝酸中的水分即使是在 0~2% 的范围内, 也要确认有无着火反应的危险性, 在这种意义上, 得到要进行预备试验的结论。但是, 在这样恶劣的环境中使用钛的情况下, 希望与美国钛金属公司的技术部门进行商谈。

表 1 钛对硝酸的耐蚀性

浓 度 (%)	浸 蚀 率 mpy* (毫米/年)		
	室 温	95°F(35°C)	212°F (100°C)
5	—	<0.1(0.00254)	0.6(0.015)
10	—	0.2(0.00508)	1.3(0.033)
20	—	0.2(0.00508)	—
50	—	0.2(0.00508)	0.2(0.00508)
65	—	无	3.9(0.099)
70	—	0.4(0.0102)	—
98	0.1(0.00254)	—	—
发红色烟	<0.1(0.00254)	—	—
发白色烟	0.1(0.00254)	—	—

* 千分之一时/年的简写, 在下面第一章的表中使用 mpy。



图译：反应领域译为反应区域；不安定领域译为不稳定区域；亚硝酸ガス译为 NO₂

图 2 水分量对发烟硝酸中钛的钝态化的影响

其他的氧化性酸

钛对除硝酸以外的氧化性酸也显示出良好的耐蚀性, 这点值得注意。例如在 10~20% 铬酸溶液中, 其他金属迅速地被腐蚀, 但钛显示出完全的耐蚀性。钛对还原性酸不能得到足够的耐蚀性, 可是在硝酸、铬酸等氧化性酸共存时, 耐蚀性大大地提高。

腐 蚀 抑 制 剂

表 2 腐蚀抑制剂在 93°C(200°F)下的 5% 盐酸中的效果

腐蚀抑制剂	浓 度 (%)	浸蚀率 mpy (毫米/年)
无	0	276(7.01)
硫 酸 铜	1	2(0.0508)
铬 酸	1	1(0.0254)
硝 酸	1	4(0.1016)

表 3 腐蚀抑制剂在 88°C(100°F)下的 30% 硫酸中的效果

腐蚀抑制剂	浓 度 (%)	浸蚀率 mpy (毫米/年)
无	0	78(1.98)
硫 酸 铜	1	1(0.0254)
铬 酸	1	6(0.152)

当氯化铁及氯化铜等高原子价的金属离子共存时,和氧化性酸共存的情况一样,钛对还原性酸的耐蚀性显著提高,具有防蚀效果,因此,值得注意。表 2 及表 3 是表示在 93.3°C(200°F) 的温度下的 5% 盐酸和在 37.8°C(100°F) 下的 30% 硫酸中的氧化性酸、氧化剂的腐蚀抑制效果。

混 合 酸

钛对王水(3HCl:1HNO₃)具有良好的耐蚀性。可是在硝氟酸的混合酸(5HNO₃:1HF)中,急剧被腐蚀。在硝酸和硫酸的混合酸中,如表 4 所示,随硫酸浓度增加的同时,腐蚀速度增加。

例如,钛作为从用于在油中开孔的钻头中回收工业用金刚石的房间内的金属用具,有无比的耐蚀性。这些用具抛露于为从金刚石周围溶解磨损了的头部的金属而从电解析出槽中出来的激烈的蒸气中。该电解槽盛有各含 5% 的硫酸和盐酸的 37.8°C(100°F)的

溶液。加 5% 的硝酸于室背后电解槽,把室内造成硝酸蒸气气氛。

表 4 在 60°C(140°F) 温度下的混合酸中的钛的耐蚀性

酸 的 浓 度 (%)		浸蚀率 mpy (毫米/年)
硫 酸	硝 酸	
0	100	0.3(0.00762)
1	99	0.1(0.00254)
5	95	0.2(0.00508)
10	90	0.4(0.0102)
50	50	15(0.381)
80	20	62(1.57)
95	5	74(1.88)
99	1	75(1.91)
100(35°C(95°F))	0	216(5.49)

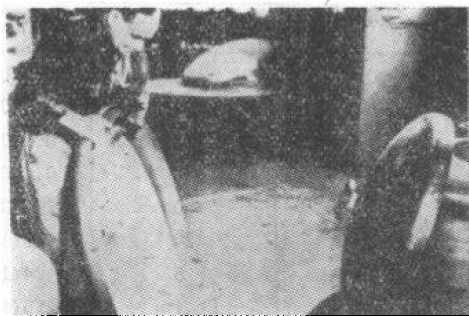
a: 氮气饱和 100 毫升/分

硫 酸

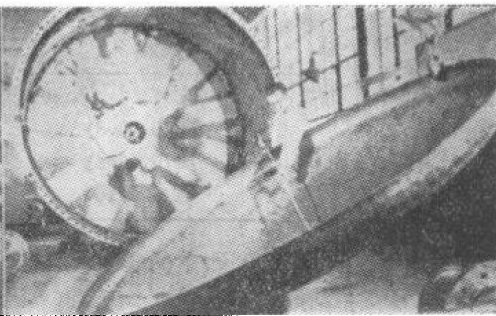
钛对低温低浓度的硫酸具有耐蚀性。研究室的数据是在高温、高浓度的硫酸中激烈地腐蚀得到的,但钛也很广泛地应用在这个领域内。这种现象一般有如下说明。即在生产过程中使用强还原性酸的情况下,常有少量多种金属离子(Fe⁺⁺⁺, Cu⁺⁺ 这样的高原子价离子)存在。在这种情况下,钛几乎不受腐蚀。为此,常常认为钛在硫酸环境中是非常优秀的耐蚀材料。这点最早在古巴的 Moa Bay 的自由港镍公司的装置上得到证明。该装置是用 246°C(475°F) 10% 硫酸溶液溶解 Ni-Co 矿石的,其压力为 42 公斤/厘米²(600 磅/吋²)。这种酸含有 32~35% 的固体物质,有腐蚀,也具有磨蚀性。钛耐浸蚀,耐疲劳腐蚀,耐晶间腐蚀,具有抵抗特殊腐蚀的优良特性,所以在上述的生产状态下不必担心产生腐蚀。上述装置上的主要部分是溶解部分。用钛的主要部分是苛刻的蒸气系统、酸注入装置和“冷却器·锅炉”。搅拌方式采取向容器中导入高压蒸气的方法,通过预热生料的钛输送管供给蒸气,在搅拌后取出。在矿石中含有

30~50 ppm 的微量氯化物, 钛在这种环境中不产生应力腐蚀裂纹, 因此是可以使用的。这种“冷却器·锅炉”是象“火管式锅炉”操作的多管式热交换器, 管道必须是钛的。加热侧在 $204.4\sim 232.2^{\circ}\text{C}$ ($400\sim 450^{\circ}\text{F}$) 温度下, 冷

却侧在 $121.1\sim 136^{\circ}\text{C}$ ($250\sim 275^{\circ}\text{F}$) 温度下, 只有钛耐生料的磨蚀。设计流速为 1.22 米/秒 (4 呎/秒), 最大允许流速在 35 公斤/厘米² (500 磅/吋²) 的压力下为 1.83 米/秒 (6 呎/秒)。



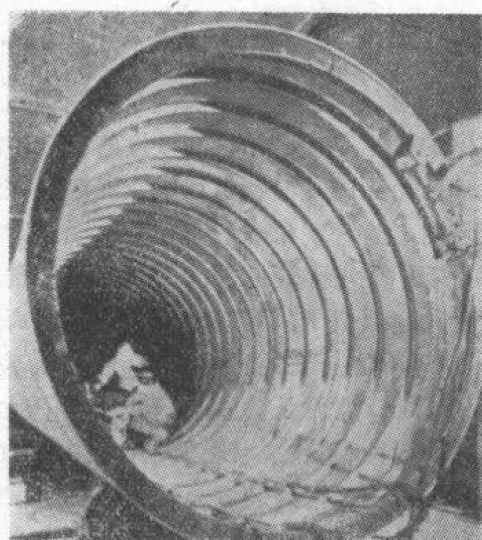
照片 2



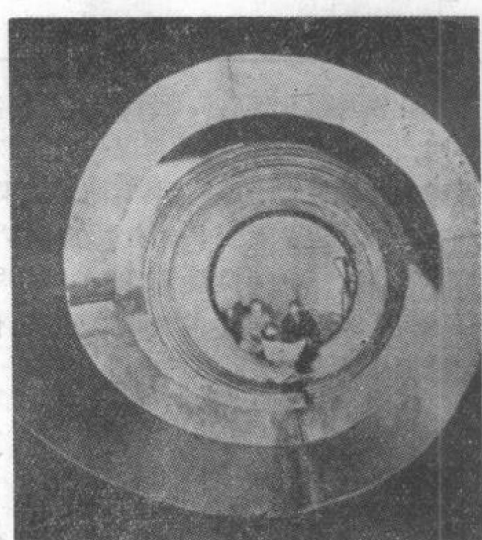
照片 3

照片 2、3 在处理硝酸的用途方面钛的利用的增加, 给工业生产带来很大发展。

照片 2 是 1959 年可能制造的处理硝酸的最大尺寸的槽子。照片 3 是 1964 年制的槽子。这两种处理槽都是弗阿得拉公司制造的



照片 4 是钛制回转式溶解槽的内面, 能看见的是一条一条的焊接槽。这是处理王水的容器, 长 20.1 米 (66 呎) 直径 2.44 米 (8 呎), 这种设计大约用钛 20 吨。制造时, 是非常细心的, 因此所有缺陷的全长是 1.6 毫米 (1/16 吋)

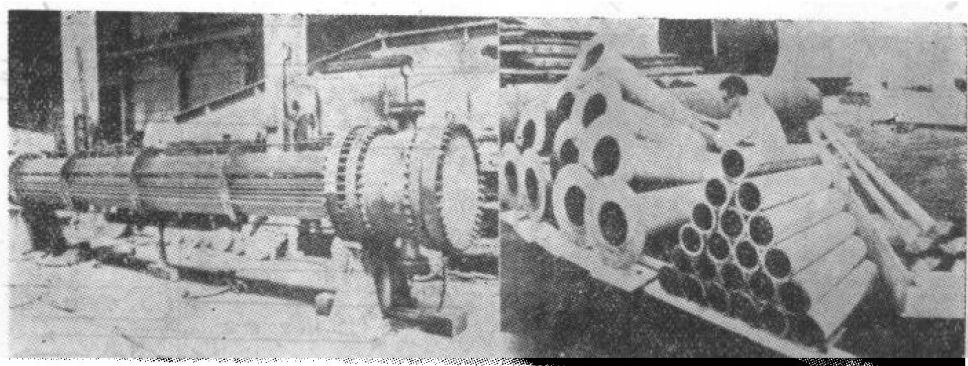


照片 5 这是把叶片焊接成槽后的容器内部。焊成的叶片描绘出阿基米德螺旋线。设计及组装技术是作为美国钛金属公司的试制研究计划的一环来进行的。

盐 酸

如添加适当的腐蚀抑制剂, 那么就可能抑制钛在盐酸中的腐蚀速度。三价铁(Fe^{+++})

及两价铜 (Cu^{++}) 作腐蚀抑制剂最有效。另外, 铬酸、硝酸等氧化性酸与金属氧化剂一样, 具有大的腐蚀抑制效果。作为其他非常有效的方法是使用如图 3 所示的 Ti-Pd 合金。

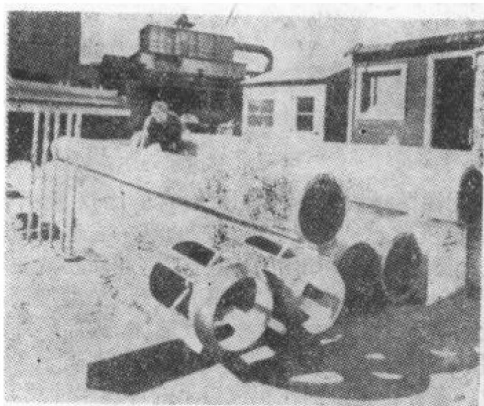


照片 6

照片 7

照片 6 是把 Ni-Co 矿石溶解于 10% H_2SO_4 溶液中的生料加热器用的管束。钛能耐由于生料引起的磨蚀和腐蚀。

照片 7 是为了溶解矿石而向高温生料中注入 H_2SO_4 的钛制导管和管嘴内衬。当有铬酸、硝酸和某种金属盐的腐蚀抑制剂共存时，钛即使在强还原性气氛中也不被腐蚀。在有氧化剂存在时，钛在 25~30% 的沸腾硫酸中使用也不产生任何缺陷，使用钛是可能的。



照片 8 在 Ni-Co (矿石) 的搅拌工序中，为预热生料而排出饱和酸蒸气的钛制注出管

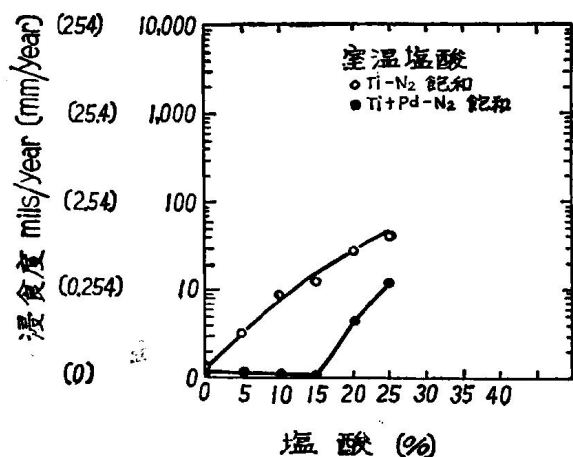


图 3 钛及钛-钯合金在室温盐酸中的耐蚀性的比较

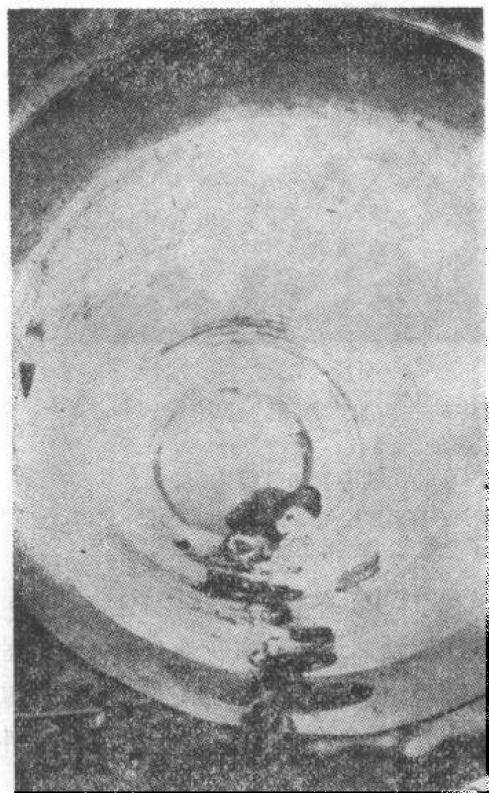
上述 Ti-Pd 合金含 0.15% Pd，在硫酸、盐酸等还原性环境或在氧化性和还原性之间变动的环境中，具有优良的耐蚀性。表 5 是纯钛和钛-钯合金在非氧化性酸中的耐蚀性比较。

表 5 钛及钛-钯合金在各种非氧化性溶液中的耐蚀性比较

环 境	浸蚀率 mpy (毫米/年)	
	商业纯钛	钛-钯合金
10% 氯化铝沸腾	<1 ¹ (0.0254)	<1 ¹ (0.0254)
25% 氯化铝沸腾	2020 ¹ (51.3)	1 ¹ (0.0254)
50% 柠檬酸沸腾	17 ² (0.432)	<1 ² (0.0254)
50% 蚁 酸沸腾	143 ¹ (3.63)	3 ¹ (0.0762)
5% 盐 酸沸腾	1120 ¹ (28.5)	7 ⁴ (0.178)
1% 草 酸沸腾	1800 ² (45.7)	45 ⁴ (1.14)
50% 磷酸通气 70°C	405 ² (10.3)	71 ² (1.80)
10% 磷 酸沸腾	439 ³ (11.2)	127 ³ (3.23)
5% 硫 酸沸腾	1920 ¹ (48.8)	20 ³ (0.508)

1. 试验时间 48~65 小时，1 次
2. 试验时间 48 小时，试样 2 次的平均
3. 试验时间 48 小时，试样 3 次的平均
4. 试验时间 48 小时，试样 5 次的平均

图 4 是表示各种耐蚀性金属的耐蚀性领域。



照片9 是用Ti-0.15Pd合金衬里的槽子。该合金是以在弱还原性气氛或在氧化、还原之间变动的气氛中的耐蚀性为目的而研制的。机械性质与工业纯钛(牌号Ti-50A)相同。

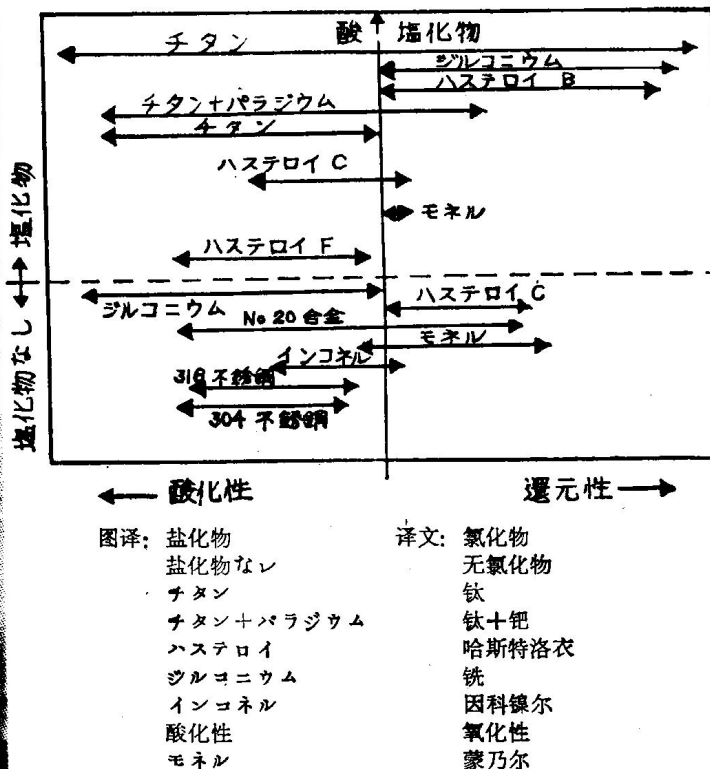


图4 其他的耐蚀材料和Ti及Ti-Pd合金的比较: 整个图是表示腐蚀环境的变化。从中央分割的垂直线的左边是氧化性环境, 右边是还原性环境。如附带说明的话, 越向左或右氧化性或还原性及其他性质越强。例如温度上升, 浓度增高。另外, 从下向上移动, 由于酸中氯化物的量增加, 因而破坏钝态化的倾向增强(腐蚀性增大)。带箭头的粗线分别表示各种合金的性质。各种合金分别在粗线以下的环境中使用。

因此, 钛在含氢氟酸的情况下使用是不可能的。有效的腐蚀抑制剂尚未发现。

磷酸

钛在35°C(95°F)温度下, 在浓度为30%的磷酸(不论有无与空气接触)中具有耐蚀性。而且在60°C(140°F)的30%的磷酸中也有相当的耐蚀性。5% 沸腾磷酸腐蚀钛。在10% 沸腾溶液中的腐蚀速度为7.62~10.16毫米/年(300~400 千分之一时/年), 相当激烈地被腐蚀。钛使用于磷酸系统的情况下, 请预先和美国钛金属公司商谈。

氢氟酸

钛在任何浓度的氢氟酸中也要被腐蚀。

亚硫酸

钛在亚硫酸中腐蚀速度是可忽略不计的。钛在100°C(212°F)的亚硫酸(含6%的SO₂)中的腐蚀速度为0.001毫米/年(0.04 千分之一时/年)。

氯气

人们了解到钛对湿润氯气(即使在温度上升的情况下)具有优良的耐蚀性(钛得到了作这样的用途使用时有完全的耐蚀性的评

价)。即比起腐蚀钛来,氯的强氧化性更倾向于造成钝化。即使是在处理过氯的盐水、二氧化氯、次氯酸、氯酸及沸腾状态的氯酸钠中,也能得到这种完全耐蚀性。在工业用途中应用钛,在有关制造氯方面,取得了很大的成功。作为虎克型电解槽的内衬材料,使用了0.0508毫米(0.002吋)的钛材,结果使用6个月也未发现任何腐蚀倾向。作为水银槽盖的内衬,0.2毫米(0.008吋)的钛使用了8个月,检查结果,与衬里时一样是完整的内衬。另外,12根外径127~203.2毫米(5~8吋)、壁厚0.508毫米(0.02吋)的钛管作为氯气冷却用的热交换器使用了4年,结果没有发现腐蚀现象。

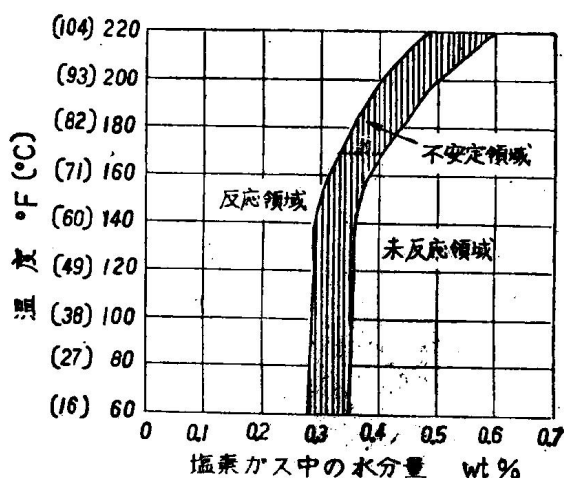
表6 钛对气体的耐蚀性

气 体	温 度 °F(°C)	侵蚀率 mpy (毫米/年)
二氧化硫(水分饱和)	70(21)	<0.1(0.00254)
硫化氢(水分饱和)	70(21)	<0.1(0.00254)
氯 气(>0.5%水分)	70(21)	<0.1(0.00254)
氯 气(<0.5%水分)	86(30)	燃 烧

在 Stauffer Chemical Niagara Fall Plant 中使用的氯气冷却热交换器开动5年没有发生故障。钛对湿润氯气具有优良的耐蚀性,但与干燥的氯气发生激烈的反应,使用钛是无用的。表6表示钛和气体反应时的耐蚀性。

干 燥 氯 气

在氯气中要使钛(钝)化的水分量,不是按图5所示的而定,而是随其状态的变化而变动。作为变动的因素有温度、气体的移动或流动程度、气体压力、部件形状、尺寸及钛表面钝化膜的机械损伤程度等。在静止状态下,钛与含水率到0.46%的氯气反应,在有划伤等表面伤痕时,会促进腐蚀。由于气体处于流动状态,腐蚀速度减慢。关于钛在氯气的干湿交界区域内的举动的知识尚不完全。

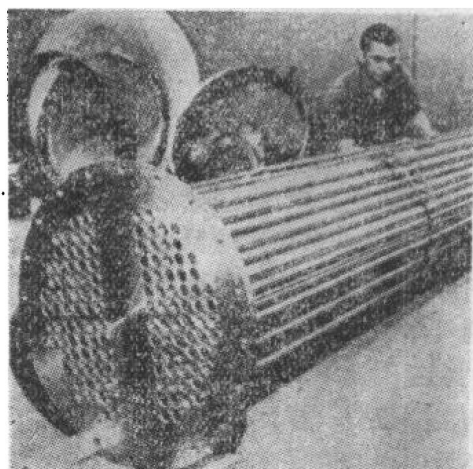


图译: 盐素ガス中の水分量译为氯气中的水份量

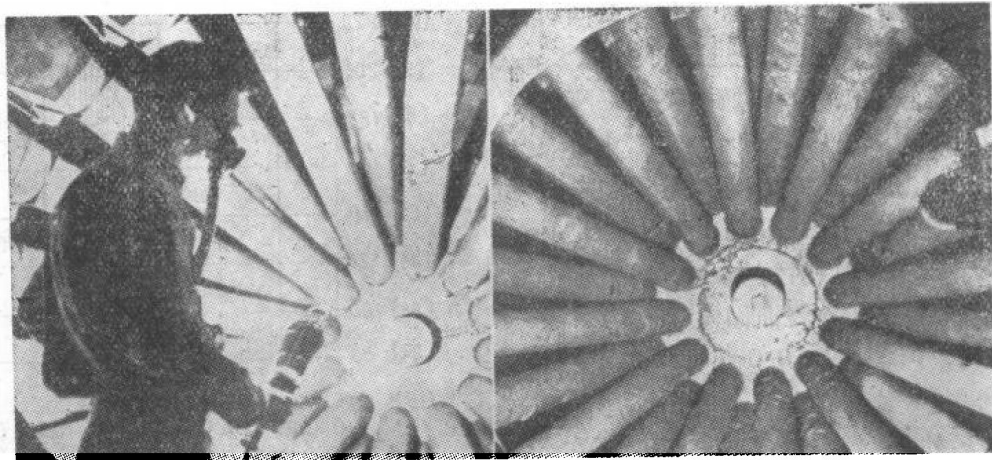
图5 氯气中的水分量和钛的钝化区域的关系



照片10 与湿的氯一样,热和振动对钛制喷雾器管的实际应用也不成问题。钛管没有实用价值,塑料管用3个月就坏了。



照片11 这是用于氯气冷却的典型的钛焊接管的管束。只要相同能力的玻璃制热交换器的8分之1的容积就可以了。钛在氯工业中急剧地取代了玻璃。



照片 12

照片 13

照片 12、13 表示使用于造纸、纸浆工业的相同用途、相同使用时间的两个氯化洗涤器,照片 12 是使用钛管,照片 13 是使用不锈钢管的状态。

从热力学观点来说,钛和氯气在室温下不能以平衡状态存在。自由能表示,在这个反应系中,是生成稳定的化合物即四氯化钛,还是生成氯和钛的比率不同的低级氯化物。

但是,在室温下的平衡状态,四氯化钛与水分不能共存这也是事实。四氯化钛和水分猛烈地反应,生成钛的氢氧化物和盐酸。关于钛对氯的耐蚀性及与氯气的反应,可作如下说明。四氯化钛在室温下是液体,沸点为 136°C (277°F)。四氯化钛的生成为放热反应,干燥氯气和钛迅速反应达到高温。然后,反应激烈地连续进行到任何一方耗尽为止。但是,在有水蒸气存在时,引起第 2 种反应。生成的四氯化钛进一步变成氢氧化钛。该氢氧化钛不是蒸发性的,而迅速形成紧贴在钛表面的表面膜。该反应系没有热力学的平衡状态,但却是非常稳定的反应。

因此,在氯气中使用钛时的耐蚀性,首先受到气体中的水分量的限制。

在氯工业中,和含腐蚀性氯的盐水也具有与湿润氯气一样密切的关系。钛在上述腐蚀环境中也具有优良的耐蚀性,但作为例外,在沉淀堆积物堵在垫料处的情况下,有产生间隙腐蚀的危险,而在这样的情况下使用 Ti-0.15Pd 合金问题不大。

氯化物

对氯化物离子的耐蚀性在一般用的结构材料中没有比得上钛的材料。使用于工业用途的结果证明,钛对象海水及金属盐这样多种形式的腐蚀性强的氯化物具有耐蚀性以及对于二氧化氯、过氯酸盐、次氯酸盐等强氧化剂具有同样的耐蚀性。

氧

钛只有在不受冲击的情况下,才能使用于液体氧、含有气体氧的气氛之中。美国钛金属公司,关于在 Ti-O 系中使用方面具有很多数据,所以在使用于有关氧的操作之前,希望商量一下。

其他气体

在低温下,钛对大多数气体具有良好的耐蚀性。即使是对于作为引起点蚀和应力腐蚀破裂的原因的硫化氢,也具有足够的耐蚀性。另外,钛对大气腐蚀也具有耐蚀性。用海上空气进行 10 年的腐蚀试验,结果腐蚀量

溶液中产生达到成问题程度的腐蚀。Ti-0.15 Pd合金即使是在上述的溶液中，腐蚀也少。钛对于对其他金属非常苛刻的氯化铁溶液，也不受浸蚀。稀硫化钠溶液对钛的腐蚀也是可以忽视的。表8是表示钛对各种氯化物溶液的耐蚀性。

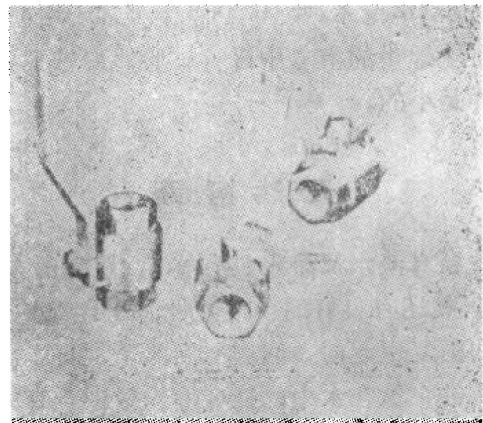
表8 钛对各种盐溶液的耐蚀性

盐	浓度 %	温度 °F(°C)	腐蚀速率 mpy (毫米/年)
氯化铝	5~10	140 (60)	0.12(0.00305)
	10	212 (100)	0.09(0.00229)
	10	302 (150)	1.3 (0.033)
	20	300 ^b (149)	630(16.0)
	25	68 (20)	0.04(0.00102)
	25	212 (100)	258(6.55)
	40	250 ^b (121)	4300(109.2)
氯化铵	全浓度	68~212 (20~100)	<0.5 (0.0127)
氯化钡	5~20	212 (100)	<0.01(0.000254)
氯化钙	5	212 (100)	0.02(0.000508)
	10	212 (100)	0.3 (0.00762)
	20	212 (100)	0.6 (0.0152)
	55	212 (100)	0.02(0.000508)
氯化铜	1~20	212 ^b (100)	<0.5 (0.0127)
	55	245 ^b (119)	0.1 (0.00254)
硫酸钠	10~20	沸 腾	无
硫酸铝	饱和	70 (21)	无
过氧酸铵	20	190 (88)	无
氯化锰	5~20	212 (100)	0.0
氯化汞	1	212 (100)	0.01(0.000254)
	5	212 (100)	0.42(0.0107)
	10	212 (100)	0.04(0.00102)
	55	215 ^b (102)	无
氯化镍	5~20	212 (100)	0.14(0.00356)
氯化锡	5	212 (100)	0.12(0.00305)
	24	沸 腾	1.76(0.0447)
氯化铁	1~30	212 (100)	<0.5 (0.0127)
	50	235 ^b (113)	0.7 (0.0178)
氯化镁	5	212 (100)	0.03(0.000762)
	20	212 (100)	0.4 (0.0102)
	50	390 ^b (199)	0.2 (0.00127)
次氯酸钙	2~6	212 (100)	0.05(0.00127)
氯化钠 ^a	3	沸 腾	0.01(0.00254)
	29 饱和	230 ^b 沸 腾 (110)	0.1 (0.00254) 0.05(0.00127)

a: 不透气

b: 高压釜试验

(来自英文资料: 金属和合金的腐蚀抗力)



照片15 制造氯用的盐水给水部分的阀门，故障非常多，每周发生一次。但换成1/2吋的钛制球阀的地方，即使是使用一个月以后也未出现腐蚀的迹象。

碱 溶 液

钛对苛性钠、氢氧化钙、氢氧化镁、氢氧化钡溶液，在高浓度溶液中，在高至沸点温度下具有优良的耐蚀性。而且钛与其他金属不同，在苛性钠溶液中不发生腐蚀脆化。但是，在氢氧化钾的沸腾浓溶液中急剧被腐蚀。表9是表示钛对碱溶液的耐蚀性。

表9 钛对碱溶液的耐蚀性

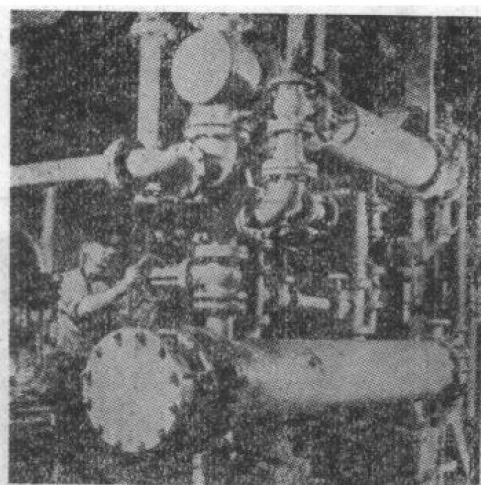
腐蚀介质	浓 度 %	温 度 °F(°C)	腐蚀速率 mpy (毫米/年)
苛 性 钠	10	沸 腾	0.8(0.0203)
	20	70(21)	0.1(0.00254)
	40	176(80)	5.0(0.127)
氢氧化铵	28	70(21)	0.1(0.00254)
碳酸钠	20	沸 腾	0.0
20%氨+2%苛性钠	—	—	0.2(0.00508)

有 机 酸

钛对有机酸具有优良的耐蚀性。特别是对醋酸，在高至沸点的全浓度中不被腐蚀。这对制造食品装置的厂家是非常有兴趣的事。另外，钛对苯二甲酸具有优良的耐蚀性。

钛制品在对苯二甲酸气氛中，能够使用直到 232°C(450°F)的各种温度下。

对全浓度的沸腾的己二酸具有完全的耐蚀性。据最近的试验结果表明，在浓度为 67%、温度高至 232°C(450°F)的己二酸中钛不被腐蚀。钛对柠檬酸、酒石酸、石碳酸、硬脂酸、乳酸、丹宁酸具有优良的耐蚀性。在蚁酸中出现了交界钝化现象。在还原性有机物的气氛中，例如在草酸中钛被腐蚀。表 10 是表示钛对有机酸的耐蚀性。



照片 16 钛热交换器(照片的上部)把 pH 值 3¹/₂ 的 25%KCl 溶液从管端的 70~80°C (158~176°F) 冷却成 54.4~60°C (130~140°F)。在用于冷却以前，钛制装置用于处理氯化铵 18 个月。因为氯化铵厂扩建，需要更大的热交换器，钛制装置多余，因此拿到苛性钾部门来了。

导弹燃料及氧化剂

钛在从 -252.8°C 到 93.3°C (-423~200°F) 的温度范围内，完全不为氢所侵袭。在此温度以上，随温度上升，钛开始被氢侵袭污染。钛还在过氧化氢或非对称型二甲基苯胂中具有优良的耐蚀性。

但是，在没有和美国钛金属公司商量时，不要用作液状或气体状氧的容器。

表 10 钛对有机酸的耐蚀性

酸	浓度 %	腐蚀速率 mpy (毫米/年)	
		140°F(60°C)	212°F(100°C)
醋酸		微量	微量
己二酸	11	微量	微量
氯醋酸	30~100	—	5 (0.127)
柠檬酸		—	0.5 (0.0127)
二氯醋酸	100	—	5 (0.127)
蚁酸		0.1 (0.00254)	0.2 (0.00508)
蚁酸 ^a	10	—	微量
	25	—	96 (2.44)
	50	—	300 (7.62)
乳酸	10	0.1 (0.00254)	1.9 (0.0483)
	25	0.1 (0.00254)	2.1 (0.0533)
	50	0.1 (0.00254)	2.2 (0.0559)
	85	0.1 (0.00254)	0.3 (0.00762)
乳酸 ^b	10	—	0.6 (0.0152)
	50	—	0.8 (0.0203)
草酸	25	500 (12.7)	1940 (49.28)
硬脂酸	100	356 (9.04)	<5° (0.127)
酒石酸		—	0.8 (0.0127)
对苯二甲酸	75	微量	微量
	25	微量	微量
三氯醋酸	100	—	570 (14.48)

a: 试验时间 6 天

b: 沸腾, 通气

c: 300°F(149°C)

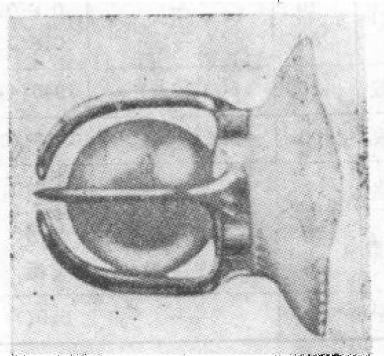
有机化合物

钛对很多有机化合物具有优良的耐蚀性。其代表例子是由尿素和其他氮化合物的反应来制造三聚氰酰胺。用钛制成的反应器，即使是在高温高压下，也具有优良的耐蚀性。另外，在乙醛的合成装置中，大量使用钛得到了好结果。钛也开始大量使用于人体内部。钛由于在人体内具有完全的耐蚀性，加上高的比强度，所以在外科整形领域内也作为最好的金属材料而被推荐使用。

表 11 是表示钛对有机化合物的耐蚀性。

表 11 钛对有机化合物的耐蚀性

腐 蚀 介 质	浓 度 %	温 度 °F(°C)	腐蚀速率 mpy (毫米/年)
无水醋酸	99~99.5	68~沸腾(20~沸腾)	<5 (0.127)
己二酸 +15~20% 戊二酸 +2% 醋酸	25	380~392(192~200)	0.0
含脂肪溶液	蒸 气	700 (371)	0.3 (0.0076)
氯化己二酰+氯苯	—	—	0.1 (0.00254)
盐酸苯胺	5~20	95~212 (35~100)	<0.03(0.000762)
苯胺 +2% 氯化铝	98	600 (316)	804 (20.4)
苯+盐酸,食盐	蒸气或溶液	176 (80)	0.2 (0.00508)
四氯化碳	99	沸 腾	<5 (0.127)
三氯甲烷	100	沸 腾	0.01(0.00254)
三氯甲烷+水	—	沸 腾	5 (0.127)
环己烷+微量蚁酸	—	302 (150)	0.1 (0.00254)
酒 精	95	沸 腾	0.5 (0.0127)
乙烯-三氯化物	100	沸 腾	<5 (0.127)
甲 醛	37	沸 腾	<5 (0.127)
四氯乙烯	100	沸 腾	<5 (0.127)
四氯乙烷	100	沸 腾	<5 (0.127)
三氯乙烯	99	沸 腾	<0.1 (0.00254)



照片 17 这个 1/4 大小的无缝心脏瓣膜，是由 Doval Rubber 公司制造的。钛瓣膜因为不必缝上，所以能缩短心脏手术的时间。球部是由 Silastic Rubber 制造的。

电 解 液

在金属电镀浴、电解氧化浴、金属电解精制浴中，除液中氟或硫酰胺酸盐等共存的情况外，钛几乎不被腐蚀。钛已经用作镀镍的阳极框，还用作阳极氧化用的夹具，另外，用作电解金属锰的阴极。通过把钛作为镀镍或镀铜的阳极框篮使用，确立了经济的新的生产方式。

过去是把重而长的棒状阳极基体吊入槽



照片 18

照片 19

照片 18 是通用电气公司为了降低阳极氧化的成本而研制的钛制夹具。由于使用钛，挂具的寿命变成了半永久性的。(铝夹具的寿命只有十天)

照片 19 这个有孔的钛制框内放入镍球，浸渍于电镀浴中。以此作阳极时，镍就溶解了，而镀到作为阴极的电镀目的物上。钛框在浴中不腐蚀不需要修补，电镀液也不被污染。

中使用。但在这种情况下，随着阳极基体的溶解，溶解效率及镀层厚度的均一性降低。在使用钛框的情况下，电镀层的均匀性良好。所使用的阳极基体，无论是球状或片状都可以，这种形状的阳极基体容易装入框篮中，而