

稀有金属译文集

第一集

钛及其合金

A. И. 叶夫斯丘欣 主編

冶金工業部有色冶金設計总院翻譯科 譯

冶金工業出版社

稀有金属译文集

第一集

钛及其合金

叶夫斯丘欣

F84
2/1

稀有金屬譯文集

第一集

鈦及其合金

A. И. 叶夫斯丘欣 主編

冶金工業部有色冶金設計總院翻譯科 譯

冶金工業出版社

本書系根据苏联外国文書籍出版社 (ИЗДАТЕЛЬСТВО ИНОСТ-
РАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ) 出版的, 由叶夫斯丘欣 (А. И. ВВСТЮХИН)
主編的稀有金屬国外期刊譯文集“鈦及其合金”第一集 (ТИТАН И
ЕГО СПЛАВЫ Ч. I) 1953年莫斯科版譯出的。

書中包括論文九篇。闡述了高純鈦、工業純鈦及鈦合金的物理性
質与机械性能, 純鈦与鈦合金的生产与加工, 鈦的金相研究以及各种
雜質对鈦的影响等問題。

本譯文集可供科学研究工作者、高等工業学校冶金專業教师以及
有关的工程技术人员参考。

本書由冶金工業部有色冶金設計总院翻譯科厉一鳴、夏立信及溫
春林翻譯, 夏立信与林春梅校对, 鋼鉄綜合研究所翁显汉与張麟經二
工程师作技术校对。

稀有金屬譯文集 第一集 (鈦及其合金)

冶金工業部有色冶金設計总院翻譯科 譯

編輯: 余紹榮 設計: 趙香苓 校对: 楊維琴
周广珍

1957年7月第一版

1959年3月北京第二次印刷 1,300册 (累計2,542册)

787×1092·1/16·111,000字·印張 $5\frac{12}{16}$ ·定价 0.70元

北京市通州区印刷厂印

新华書店發行

書号 0647

冶金工業出版社出版 (地址: 北京市灯市口甲 45号)

北京市書刊出版業營業許可証出字第 093号

目 录

原出版者的話.....	(4)
用作結構材料的鈦及其合金.....	(5)
高純鈦的机械性能与物理性質.....	(16)
硫对鑄鈦性能的影响.....	(21)
鈦合金.....	(31)
鈦基合金的生产及其性能.....	(38)
压力加工的高鈦合金的性能.....	(53)
鈦的金相学.....	(60)
鈦在空气中加热时鱗皮的形成.....	(67)
鈦在有色金屬合金中的用途.....	(86)

原出版者的話

近代航空業、造船業及機器和儀器製造業等許多技術部門的發展，對結構材料提出了各種新的要求，而這些要求往往是鐵基、銅基、鋁基或鎳基合金所不能滿足的。因而一些以其他金屬為基礎的合金，首先是以所謂「稀有」難熔金屬為基礎的合金，就引起了設計師及冶金師們更多的注意，因為從這些合金我們可以期望得到高度的耐熱性，耐蝕性以及其他可貴的性能。

鈦基合金即應列入上述一類合金。近年來，鈦基合金已成為廣泛而細密研究的對象，同時，在許多情況下也已獲得了重要的技術意義。某些鈦基合金具有極其優良的性能，在比重較鋼輕一半的情況下，其強度則超過鋼一倍，並且也是耐蝕和高溫穩定性的材料。

鈦在自然界中分佈極廣，以及人們在鈦冶煉中所獲得的成就，都足以使鈦成為一種完全容易得到的材料而被廣泛應用在工業上。當金屬鈦的價格有所下降時（隨着生產規模的擴大是完全可能的），鈦基合金就可能成為像鋁合金或不銹鋼一樣易於得到的合金。

“鈦及其合金”譯文集共分兩集出版（第一集和第二集）。第一集包括九篇論文的節譯，這些論文主要是最近三四年來國外期刊上所刊載的。在這些按專題編選的論文內，闡述了用各種方法提煉和加工成的金屬鈦的物理性質、機械性能和工藝性能；研究了各種元素特別是碳對鑄鈦和鈦加工品的影響；敘述了鈦的金相學，以及鈦在有色金屬合金中作為合金加劑的作用。

準備出版的第二集內，包括鈦的最主要的二元、三元和四元合金及其生產、加工、試驗方法和試驗結果。第二集內同時還闡明鈦與最重要的一些合金組元——鉻、鐵、鋁、鈳、鉬和鈮——的狀態圖。

譯文集中附有最主要的文獻來源一覽表。

外國文書籍出版社要求讀者對“鈦及其合金”譯文集的內容及裝幀方面提出自己的意見和建議，通訊處：莫斯科164區新阿列克賽耶夫街52號，科學情報局。

用作結構材料的鈦及其合金^①

緒 言

毫無疑問，在不久的將來鈦即可成為重要的結構材料之一。由於鈦的分佈很廣（地殼中鈦的含量僅次於鋁、鐵及鎂，而在地殼的結構金屬中佔第四位），及其機械性能和物理性質在某些情況下較不銹鋼及輕金屬合金優越，因此便構成了它在工業上被廣泛應用的可能性，在鈦的這些優越的性質中，值得提出的是它的高度抗蝕性，以及高強度與小比重的結合。

鈦便於鉚接、鍛造和熱加工。某些鈦合金的電阻，甚至高於已知的其他金屬合金的電阻。鈦在熱態下（593°）的硬度，依合金成份添加的種類及含量的不同，可達羅氏硬度 $H_{RA}32$ 單位；鈦加熱至 760° 不氧化，加熱至 537° 有很高的抗蠕變強度。

但是正如其他結構材料一樣，鈦具有以下一系列缺點：1) 不易切削加工；2) 某些鈦合金只適於在熱態下加工；3) 目前鈦的價格還很高。

金屬鈦的生產

從礦石中提取金屬鈦，現有幾種方法可以採用。

礦石在提取金屬鈦之前，應以碳和鹵素之一（氟，氯，溴或碘）初步處理，以得到鈦的四價鹵化物。然後這些鹵化物即以鎂，鈉，鋁，鈣或鋰還原成金屬鈦。最純的鈦是在熾熱的金屬絲的表面上用熱分解四碘化鈦的方法提取。現在是使用借其他方法提取的金屬鈦作為製備四碘化鈦的原料。

為了大規模生產金屬鈦，使用四氯化鈦較為方便，而最有前途的方法是利用上述鈦的鹵化物為基礎的所謂鎂熱法。

根據鎂熱法，礦石（鈦鐵礦）用碳和氯進行處理以得到四氯化鈦。

鎂熱法的設備為一鐵制罐或彈形罐。罐上具有密封的蓋子和幾個為導入惰性氣體、四氯化鈦及熱電偶的孔。彈形罐中的純鎂在惰性氣氛中加熱約達 140°，然後將溫度昇至 760° 並導入四氯化鈦。在反應過程中所得到的大部份氯化鎂呈液體狀態流出，而剩餘部分則在真空下提出。然後即得到海綿鈦。此法的另一種方式是將大部份熔融氯化鎂放出，然後使剩餘爐料冷卻後再回收鈦。因為鈦尚含有一些氯化鎂雜質，故以弱酸性水溶液沖洗，並於乾燥後磨成粉末。

用鈉熱法提取金屬鈦，除鈉代替鎂之外，與鎂熱法同。

金屬鈦的提取也可以應用所謂碘化物法，這種方法是基於四碘化鈦在熾熱金屬絲表面上的熱分解。雖然這種方法緩慢而不經濟，同時只能產出少量金屬，但仍是在實驗室規模下提取高純度鈦時所採用的方法。

① Product Engineering, 20 (11), 129-152 (1949).

为將海绵鈦鑄成用以軋制成板或鍛制成坯料的錠子，可採用不同的方法。方法之一是將海绵鈦磨成細粉，然后压成結实的型塊，並在加热至 1050—1100° 的真空爐中燒結約 16 小时。另一种方法是將海绵鈦在电弧爐的水冷式銅坩堝內，於惰性保护气氛(氩，氦)中熔化，或在感应加热的石墨坩堝內，於保护气氛中熔化。

鈦的机械性能

退火后的金屬鈦，按其抗張强度來說是完全可以与不銹鋼和强度最大的鋁合金相比的。但是这种性能並不是最重要的，因为退火后的金屬鈦一般是用在要求冷态变形能力比强度更为重要的情况下。

鈦的强度可因冷加工或用制合金的方法而显著地增加（見表 1）。此点將在下面作較詳尽的闡述。

表 1

鈦^①，不銹鋼以及几种輕金屬合金的机械性能

性 能	金 屬 鈦			鋼 SAE1015	不 銹 鋼 AISI302		鋁合金 24S-T	鋁合金 75S-T	鋁合金 A2-31x-h
	退火的	中等硬度的	硬的	退火的	退火的	中等硬度的			
抗斷强度，公斤/毫米 ²	56.0	89.0	87.5	43.4	61.0	105.0	42.5	56.0	30.0
降伏点 ^② ，公斤/毫米 ²	50.2	73.5	77.0	29.4	25.9	77.0	28.7	50.2	22.4
50毫米長試样的延伸率，%	25.0	14.0	12.0	—	55—60	15.0	23.0	13.5	—
密度，克/毫米 ³	4.54	—	—	7.8	7.92	—	2.7	2.7	1.77
彈性模数，公斤/毫米 ²	10500	—	—	20300	19600	—	7300	7900	4500
單位密度的强度極限：									
在常溫時.....	12.4	17.7	19.2	5.6	7.7	13.2	15.8	20.8	17.2
在204°時.....	7.8	13.0	14.6	—	6	—	6.9	10	—
在426°時.....	5.5	6.0	8.2	—	—	—	—	—	—
在537°時.....	2.5	3.5	3.0	—	—	—	—	—	—
單位密度的降伏点：									
在常溫時.....	11.0	16.2	17.0	3.7	3.3	9.7	10.6	18.5	12.9
在204°時.....	5.2	12.6	11.5	—	3.0	—	5.2	9.8	—
在426°時.....	3.6	6.4	7.8	—	—	—	—	—	—
在537°時.....	1.9	2.7	2.6	—	—	—	—	—	—

① 感应电爐內熔化的銀熱鈦

② 永久伸長为 0.2%

鈦的优点在於它比其他金屬有較高的比例極限，即約为 26 公斤/毫米²，而奧氏体不銹鋼的比例極限不超过 17.5 公斤/毫米²。只有热处理的鋼和一些鋁青銅才有可以与鈦相比拟的比例極限；但它們的比重則几乎比鈦大一倍。

除要求鈦有高强度外还要求有高度的比例極限时，鈦的应用能使結構的重量減輕。

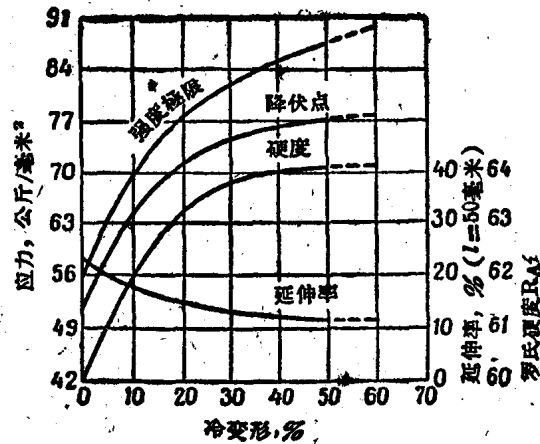
鈦的冷軋可增加其硬度及抗張强度，但減低其塑性，如圖 1 所示。

鈦在高溫（直达 537°）时的强度为其重要性能，而合金鈦可达 650°。鎂及鋁的合金在高於 315° 不能承受負荷，而鈦在溫度高达 537° 时，仍具有足够的抗變强度。工業純鈦在各种溫度下的机械性能如表 2 所示。从此表中的数据可以看出，鈦能有广泛的用

途，因为用制合金的方法可使钛在 500° 时的罗氏硬度 H_{RA} 从 33 增至 49 单位，在 570° 时，从 6 增至 27 单位。

在温度 315° 和应力 17.5 公斤/毫米² 下，以锻造的钛棒（含 C 达 0.5%）进行试验并没有发现显著的蠕变现象。当应力为 9.5 公斤/毫米² 和加热至 425° 时，可发现每小时 0.000015% 的蠕变。

圖 1 工業純鈦板在冷变形作用下机械性能的变化



工業純鈦在各种温度下的机械性能

表 2

① 温度 °C	型材	状 态	抗张强度 公斤/毫米 ²	降 伏 点 (永久伸长 0.2%时) 公斤/毫米 ²	延 伸 率 (试样长度 为50毫米) %	横 收 缩 率 %	冲 击 值 (试样带有 尖形切口) 公斤米	弹 性 模 数 公斤/毫米 ²
-56 常温	坯料	热锻的.....	96	87	14	16	1.5	22000
	棒材	热锻的.....	63	52	18	26	2.6	11200—11500
	"	退火的.....	56	50	25	55		
	板材	冷压的, 压缩率为25%.....	80	73	14	35		
204	"	冷压的, 压缩率50%.....	87	77	12	30		10150—10850
	棒材	热锻的.....	47	27	21	33	5.4	9100
	"	退火的.....	36	24	33	57		
	板材	冷压的, 压缩率为25%.....	59	57	16	27		
426	"	冷压的, 压缩率为50%.....	67	52	18	38		9800—10500
	棒材	热锻的.....	33	23	15	53		10150
	"	退火的.....	25	24	20	60		
	板材	冷压的, 压缩率为25%.....	31	29	44	58		
537	"	冷压的, 压缩率为50%.....	37	35	46	65		9100—9800
	棒材	热锻的.....	24	17	43	60		8400
	"	退火的.....	11	10	77	96		
	板材	冷压的, 压缩率为25%.....	16	13	48	84		
"	冷压的, 压缩率为50%.....	14	12	79			7300—8000	

① 在上述温度下，停留时间为30分钟。

当应力为 1.4 公斤/毫米² 和温度为 537° 时，曾发现每小时 0.00012% 的蠕变。纯钛试样在 425° 和 22.4 公斤/毫米² 的应力下，于 100 小时内发生断裂，而在温度为 537°，应力为 5.2 公斤/毫米² 下进行试验时，也获得了相同的結果。金属钛及其他材料的断裂负荷曲线如图 2 所示。

根据初步資料，鈦板試样經 1000 万个週期后，其疲劳極限为 38.5 公斤/毫米²。这些試驗材料的抗断强度为 91 公斤/毫米²，而降伏点为 78 公斤/毫米²。由鈦棒制备的旋轉試样之疲劳試驗指出，疲劳極限約为抗断强度的 50%。尖形切口試样的疲劳極限約为抗断强度的 25%。帶切口和不帶切口試样的疲劳極限曲綫如圖 3 所示。鈦有高度的抗剪强度 (57 公斤/毫米²) 和揉皺强度，这就說明它是适于鉚接的(特别是适用于航空工業方面)。

圖 2 金屬鈦，不銹鋼及 24S-T 鋁合金的断裂应力

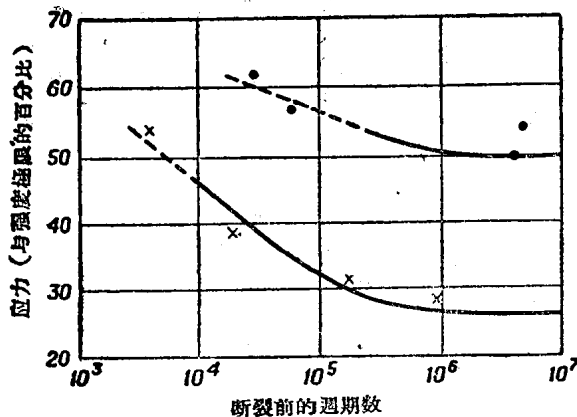
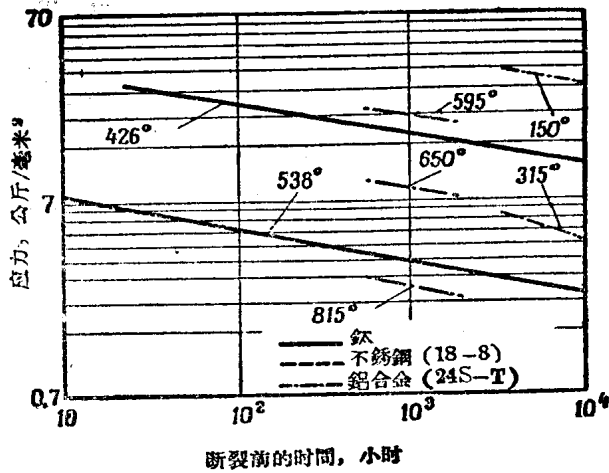


圖 3 有切口或沒有切口的金屬鈦於進行旋轉試样試驗時的疲劳極限曲綫
●—沒有切口；×—有切口（应力集中系数2.7）

鈦的其他机械性能，根据試驗結果可用下列資料表明。

抗压强度——很高，可見表 3。

金屬鈦的抗压强度

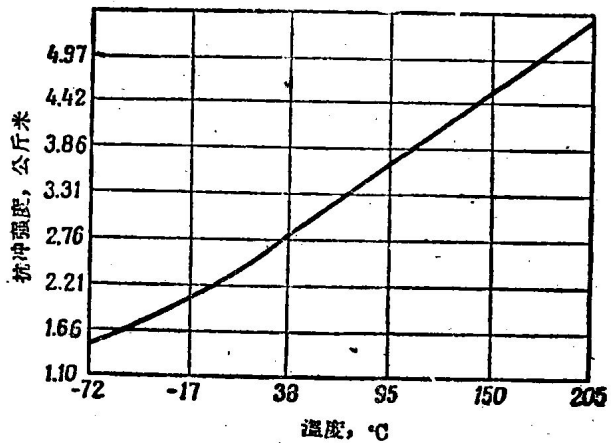
表 3

性 能	材 料 类 型			
	材 ①		材 ②	
	热 鍛 的	退 火 的	中 等 硬 度 的	硬 的
抗压强度, 公斤/毫米 ²	67 (試样膨胀)			
降伏点③, 公斤/毫米 ²	53	50	69	73④
比例極限, 公斤/毫米 ²	39	11200	10900	10500
彈性模数, 公斤/毫米 ²	12250			
泊松系数.....	0.33			

① 試样直径12.5毫米，長度70毫米。② 厚度1.65毫米 ③ 永久变形0.2%。④ 永久变形0.1%。

冲击值——約为 2.45 公斤米；帶尖形切口的金屬鈦試样於常溫下进行沙尔帕試驗 (испытание по шарни)，其結果如圖 4 所示。

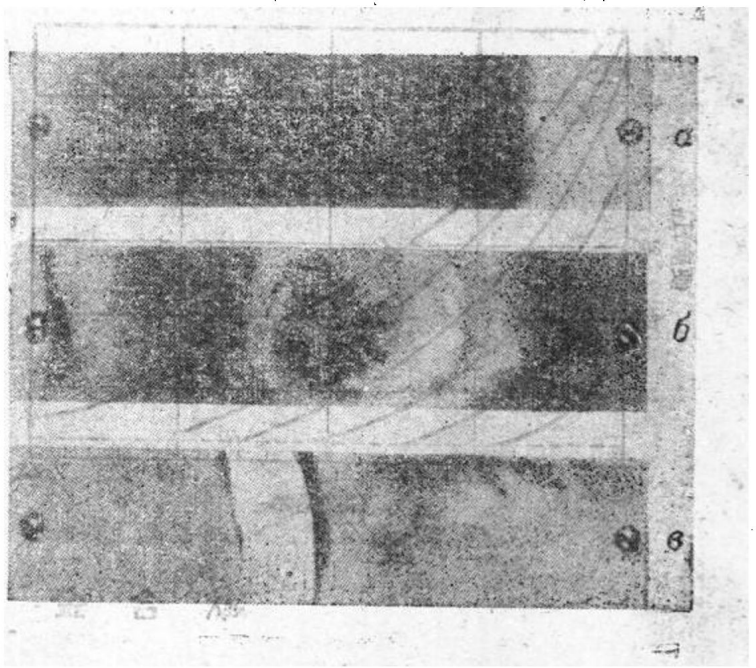
圖 4 帶尖形切口的鍛造金屬鈦試样的冲击值



机械性能——鈦板 (冷軋至厚度收縮率为 50%) 拉伸时的机械性能，對於順着鈦板压延方向和橫着压延方向切取的兩個試样來說，無显著差別。

高温稳定性—— (根据在 1200° 时火焰試驗 30 分鐘的結果)，鈦的高温稳定性不低於不銹鋼，而比鋁則高得多 (見圖 5)。

圖 5 在 1200° 时，火焰对鈦、不銹鋼和鋁合金的作用
 a—鈦 (30 分鐘)； b—不銹鋼 (30 分鐘)；
 c—24S—T 鋁合金 (30 分鐘)



抗扭强度——鑄造鈦棒的抗扭强度試驗得出下列結果：彈性模数——4420 公斤/毫米²；强度極限——56 公斤/毫米²；降伏点 (当永久变形为 0.2% 时)——40 公斤/毫米²；比例極限——32 公斤/毫米²；在 25 毫米長度內，裂断变形为 19 毫米。

罗氏硬度 H_{RC} ——由退火鈦試样的 14 單位变动到冷态下变形后的 30 單位。

鈦的物理性質和化學性質

純鈦之密度（比重）居於鋁與鐵或不銹鋼的中間。這種特性以及其高度的抗張強度說明了鈦之廣泛應用的可能性（受壓力作用的結構除外）。

抗蝕性是鈦的另一種特性，因此在某些情況下，它就可能來代替不銹鋼。鈦在海水作用下的抗蝕性優於奧氏體不銹鋼、蒙乃合金及銅鎳合金，並且不亞於鉛。

其他的物理性質中應當指出的是鈦具有很高的電阻。純鈦的電阻低於鎳鉻合金，但是含 3%Al, 4%Cr 以及 0.5% 以下 C 的鈦合金的電阻係數為 141×10^{-6} 歐姆·厘米，而鎳鉻合金的電阻係數則等於 106×10^{-6} 歐姆·厘米。此外，鈦的電阻可因熱處理而在某些範圍內有所改變。

由於鈦長期在空氣中及高溫下會遭受氧化，且其脆性會增加，因此在製造電阻材料方面的廣泛採用是值得懷疑的。但是，在多數情況下，電阻材料大致是在常溫下使用的，所以用鈦及其合金製造電阻材料還是可能的。

溫度在 150—200° 時，鈦的表面會形成灰色的氧化物與氮化物的薄膜；於 537° 時，薄膜變成深灰色；而高於 537° 時，則出現橙黃的色彩。無碳金屬鈦於 926°—1200° 下加熱時，表面硬度的變化曲線如圖 6 所示。這些在保持一小時時間所構成的曲線指明，在此溫度範圍內即使是短時間的加熱也是有害的。

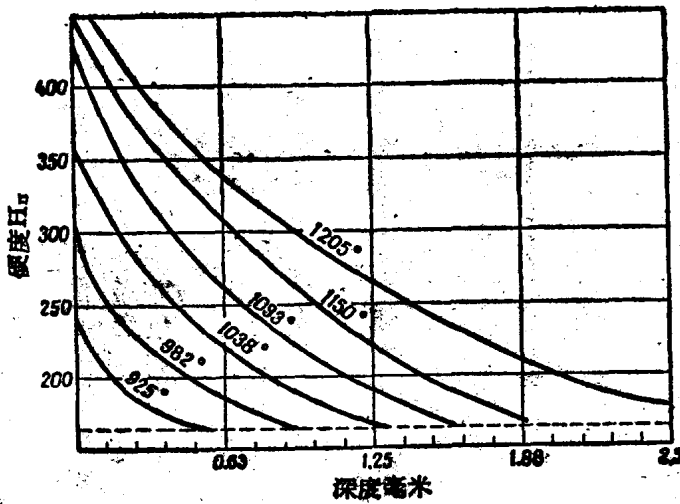


圖 6 溫度對金屬鈦表面硬度的影響

鈦合金

作為結構材料的鈦，主要是鈦的各種合金。這點可用下列原因說明。

1. 強度極限可從純鈦的約 80 公斤/毫米² 提高至鈦合金的 112—133 公斤/毫米²。有些鈦合金的強度極限為 161 公斤/毫米²，但是在這種情況下其塑性是極小的。
2. 其他鈦合金的塑性並不差，而在個別情況下，經冷加工後還會超過純鈦的塑

性。曾发现某些钛合金的强度极限为105—112公斤/毫米²，当横截面收缩率为40%时，其延伸率为18—20%（试样长度为25毫米）。

3. 由于某些钛合金对于某些酸及化合物的抗蚀作用的增加，可稍微降低它们一般的抗蚀性。

4. 钛合金在热轧后时效处理，硬度可随之提高，其硬度 H_n 由于处理的结果可高达75个单位。

5. 曾发现一种时效硬化的合金，其塑性经时效处理后并未显著地下降。

6. 合金的价格并不高于金属钛的价格。

7. 某些钛合金在高温下比工业纯钛不易于氧化。

8. 多数钛合金具有良好的可锻性。

9. 某些钛合金在高温下具有相当大的强度。

10. 某些钛合金的电阻比金属钛的电阻大得多。

有四百种钛合金的资料已经发表。其中至少有一种一般用途的合金以及五、六种特殊用途的合金具有极其优良的性能。

从发表的资料中可以确定：那些合金元素对钛的性质能有良好的影响。这些元素可使钛合金状态图中的 α -与 β 相之固相线下降。

根据週期表中各元素的排列次序的观察，它们应用在钛合金中的可能性如下述：

第一族——铜能稍微提高钛合金的硬度，但就提高合金的硬度或强度来说，铜并不是一种良好的合金元素。这就限制了铜在钛合金中应用的可能性。锂、钠、钾和这一族中的其他元素甚易挥发，而且并不能改善钛合金的性能。

第二族——本族大多数金属很难与钛熔合。曾用铍进行了一些试验，但并未得到良好的合金。因为这个金属与钛形成不溶解的金属间化合物。但是少量的铍（约0.1%）可对退火与加工的合金性能有所改善，镉、钙、锌、铟和镁等大致都不适用于制造钛的合金。

第三族——本族的元素中只有硼和铝可用于制造钛的合金，其他元素不是甚易挥发，就是很稀少。

硼与铍一样，不能与钛形成固溶体，而能生成金属间化合物。

关于硼之应用可能性方面还没有一致的意見。有一些研究工作者认为广泛地应用硼来制造钛合金是有疑问的；同时另一些人则相信硼钛合金具有优越的抗氧化性，以及足够的强度和塑性。硼钛合金的电阻系数为 $58-68 \times 10^{-6}$ 欧姆·厘米，即其值大致与纯钛相等。

对于制造钛合金来说，铝具有很大的意义。最好的一种钛合金含有3%Al，4%Cr和达0.5%C。钛与铝铁的合金同样是值得注意的。铝能提高钛合金的硬度，加热时的抗氧化性并增加其强度。

第四族——锆与钛能形成连续固溶体，在固体状态下钛含Zr达1%。锆能稍微提高钛的强度和硬度。锡和铅亦可发生相同的作用，但它们在钛中的溶解度是有限的。少量的砷是有利的添加成分。含1%Si和0.47%C的钛合金之强度极限为84.7公斤/毫米²，延伸率为12%（试样长度为50毫米），而且在加热时具有良好的抗氧化性。当钛合金

含 1.5%Si, 1.5%Mn 和 0.47%C 时, 即变为非常脆的合金。因此, Si 的添加只是在不大于 1% 时是有利的。这一元素的增高钛合金脆性之倾向, 可能使其应用受到限制。

少量的碳能增加钛的强度及硬度, 这是一个有利的情况, 因为要除去钛中的碳杂质是困难的, 特别是在石墨坩埚中熔化时。碳在 α -钛中之溶解度可达 0.1%; 而在 β -钛中则可达 0.25%。当含碳量不大时, 碳本身对纯钛的性能并无显著影响, 但当其他元素存在时, 即在复杂钛合金中, 碳就有较大的影响。

含钒及碳约 5% 的钛钒碳合金, 其强度大于钛碳合金; 此种合金在温度 900° 以下时, 能很好地抵抗氧化, 但在高温下其硬度不高。

第五族——铌和钼在钛合金中尚未获得应用。

如氮的含量不超过 0.25% 时, 则其对合金的性能会有良好的影响。这也是一种有利情况, 因为即使在真空中或保护气氛中熔化时, 也很难避免氮的杂质。当氮大量熔解时, 会使合金发生脆性。

在很多方面钒是一个良好的合金元素。例如含 1%V 的钛合金的强度极限为 84 公斤/毫米², 延伸率为 23% (试样长度为 50 毫米), 即较应用其他合金元素时的塑性为高。钒钛合金的其他优点即其具有淬火和回火的可能性。但是在高温下, 这种合金的硬度及抗氧化性不大。

含有 5%V 的钒钛合金试样的强度极限为 121 公斤/毫米², 延伸率为 4.5% (试样的长度为 50 毫米)。锻造后其强度极限则为 98 公斤/毫米²。

第六族——到目前为止本族中发现了二个最好的钛合金元素, 即铬和钨。有根据认为这二种元素将是钛合金的主要合金添加成分。它们可增加合金的硬度和强度, 而不会引起合金的脆性, 同时在高温下能加强其抵抗氧化的能力。铬的作用稍优于钨, 因为铬较少地降低合金的塑性。

现在也有很多有关钨在制造合金方面的优点的资料。钨能与钛形成一些固溶体, 但是其有益的作用要次于钛与铬, 钨的合金。虽然如此, 钨仍可应用为复杂钛合金的次要添加成分, 特别是在备有钨电极的电弧炉中进行熔炼时。

氧亦属于本族。氧对钛合金的影响大致与氮相同, 但有益的成分较少。大量的氧会给予合金脆性, 而少量的氧可增加其硬度和强度, 同时稍微降低合金的塑性。虽然氧存在于所有的钛合金中, 但其含量, 目前所知道的只是少量的存在而已。

硫与硒并不是钛合金的有益组成成份。

第七族——本族的元素中, 锰在钛合金中的作用与铬相同。锰能大量地 (百分之几) 溶解于钛的 α - 及 β - 相中, 并可增加其硬度及强度, 但不减低合金的塑性。

第八族——作为钛合金元素的铁的价值是极不明显的。在钛中有限的溶解度是这个金属的特点。铁能提高钛的强度和硬度, 但降低其塑性。不过铁还是可以用在经过热处理的复杂钛合金中的。

钴可溶于 α - 及 β - 钛中。钴虽然能相当增加合金的硬度与强度, 但就其作为合金元素的作用来说则远较铬、钨及锰为差。此外, 钴还使钛合金产生脆性。例如, 某种钛钴碳合金的强度极限 90 公斤/毫米², 有极微的延伸率。少量的钴可使复杂的钛合金质量得到改善。因此显而易见, 它在钛合金中的应用是受到上述情况限制的。

镍对钛合金的作用与钴相同。随着镍含量的增加，钛合金的塑性的下降要比强度和硬度的增加较为迅速。钛镍合金很脆，并且很难在电弧炉中进行熔炼。由于这些缺点，所以镍不适用于制造钛合金。

根据上述资料，钛合金问题的目前情况可叙述如下：

1. 在任一种钛合金中，合金元素的最大含量为7—10%，平均约为5%。
2. 铬、锰、钼、氮、碳、铝等一般地可用为主要的合金元素，而砷、硼及铁也是可以应用的。少量氧的存在是难以避免的。
3. 适用于热处理的合金正在进行寻找和研究中，根据冶金学家的意见，这种合金将含有铁作为其组元之一。
4. 如果对一些新的钛合金在蠕变程度、疲劳强度及抗蚀性能等方面进行细致而长时间的试验研究，那么就有可能在特殊用途的合金中应用一些不能提高硬度及强度的合金元素。

几种钛合金的性能

从已经进行过试验的一百种钛合金中，我们选择了6—8种具有最优良性能的钛合金来进行研究。

铬铝钛合金——这种合金约含3%Al, 5%Cr及少量的碳、氮和氧(C约0.5%, N<0.1及O约<0.09%)。此种合金锻造后的罗氏硬度 H_{RA} 为70—73, 抗张强度为122公斤/毫米², 延伸率为6—8% (试样长度为50毫米)。其电阻系数为 141×10^{-6} 欧姆·厘米, 而镍铬合金之电阻系数则等于 106×10^{-6} 欧姆·厘米。因此, 此种合金不仅可以作为结构材料, 并且也能用作电子设备及电气设备中的电阻材料。按高温下的硬度而言此种合金为良好的钛合金之一(表4)。此种合金比纯钛或在某些情况下比不锈钢更适用于较高温度下应用。

表 4

铬铝钛合金与其他钛合金在高温下硬度的比较

钛合金	成 份	加 工	在各温度下的罗氏硬度 H_{RA}						
			常温	110°	200°	300°	400°	500°	600°
铬铝的	3%Al; 5%Cr; 0.5%C; 少量的N ₂ 和O ₂	锻造的	71	68	65	61	58	47	27
		淬火的	75	72	69	65	60	52	20
碳的	0.5%C	锻造的	63	57	52	49	43	33	6
		锻造的	72	69	65	58	50	42	0
铝碳的	4%Al; 0.6%C	锻造的	72	69	54	59	52	44	32

这种合金在900°下保持16小时, 其重量之增加为试样表面的0.022克/厘米²。这就说明了它的良好抗氧化性。但是在相同的条件下, 硼钛合金以及砷钛合金之重量只相应地增加0.003和0.006克/厘米²。

铬氮碳钛合金——这种合金含3.5%Cr, 0.1—0.2%N和0.15—0.25%C。其抗张强度为133公斤/毫米², 延伸率为6% (试样长为50毫米)。其柔软性(以弯曲到105°

时之最小弯曲心型半径表示) 等於試样厚度的三倍, 如果合金中合金元素含量提高至6%, 則其抗張强度可增高至 154 公斤/毫米², 但其延伸率則相应地減低至 2% (試样長度为50毫米)。

矽錳碳鈦合金——这种合金含 1.33%Si, 1.5%Mn, 0.4%C, 其余为鈦。合金具有很高的强度, 但塑性很小。其硬度可用淬火方法提高, 而淬火后的回火又会使硬度下降。由 900° 於水中淬火后合金具有罗氏硬度 H_{RA} 76.5 (H_{RC} 51 个單位)。在空气中加热至 900° 时, 合金具有良好的抗氧化性。試样在 900° 下保持 16 小时, 其重量只增加 0.0046 克/厘米²。

这种合金的其他机械性能: 試样在 871° 下經鍛造使橫截面收縮 79%, 此时其抗張强度为 105 公斤/毫米², 比例極限为 66 公斤/毫米², 彈性模数为 11600 公斤/毫米², 延伸率为 2.4% (試样長度为 50 毫米)。在 600° 下經鍛造后其罗氏硬度 H_{RA} 为 17 單位, 而淬火后則为 H_{RA} 27 單位。

其他一些鈦合金: 还有很多具有非常好的机械性能的鈦合金。其中大多数是三元或四元的, 但其准确的成份尙未發表。其中有**塑性合金**, 其抗張强度为 105—112 公斤/毫米², 延伸率为 15—20% (試样長度为 25 毫米), 同时也有一些很硬和很脆的合金, 其抗張强度为 162—164 公斤/毫米²。这些合金的机械性能如表 5 所示。

表 5

几种三元或四元鈦合金的机械性能 (鍛造后)

强度極限 公斤/毫米 ²	延伸率 (試样長度为 25 毫米) %	橫截面收縮率 %	布氏硬度 H_B
164	1.0	11	400
143	7.0	22	388
126	13.0	25	352
120	15.0	39	341
105	20.0	41	320

参 考 文 献

1. Remington Arms Co., Technical Information on Titanium Metal, March, 1949.
2. U. S. Depart. Navy, Office Nav. Res., Symposium on Titanium, March, 1949.
3. Nat. Meeting Am. Chem. Soc., Atlantic City, Symposium on Titanium, September 21, 1949.
4. Navy Contr. No. NOa(5) 9919, R. Mallory Co. Progress Reports on Titanium.
5. Navy Contr. No. NOa-8698, Mallory Co., Manufacture of Ductile Titanium Alloys, Final Report No 17.
6. Sub-contract under contract No. W33—O38 Rand Corporation and U. S. Air Force. Project RAND—Titanium and Titanium Base Alloys, Rep. Battelle Inst.
7. Dean R. S., Silkes B., Inform. Circ. 7381, U.S. Bureau Mines, November 1946.
8. Long J. R., Hayes E. T., U. S. Bureau Mines Rep. Investig. 4464, February 1949.
9. Campbell E. I., Jaffee R. L., Blocher J. M., Garland J., Gonsler B. W., *J. Electrochem. Soc.*, 93 (6) (June, 1948).
10. Bickerdike R. L., Sutcliffe D. A., *Metallurgia* (April, 1949).
11. Litton F. B., Gonsler B. W., *Metal Progress* (March, 1949).
12. Stewart R. S., *Canad. Mining J.*, (June, 1949).
13. Technical Data and Properties of Titanium Metal, Du Pont de Nemours Co.
14. Dean R. S., Long J. R., Wartman F. S., *Metals Technology, AIMME Techn. Pub. No 1965* (February, 1946)
15. Hunter M. A., *J. Am. Chem. Soc.*, 32 (1910).
16. Kroll W., *Trans. Am. Electrochem. Soc.*, 78 (1940).
17. Gee E. A., Vander Hoff W. H., Winter C. H., Recent Developments in Titanium, Am. Electrochem. Soc.
18. Worner H. W., *Metallurgia* (June, 1949).
19. Lee Williams W., U. S. Naval Exp. Station, Rep. C—3501 The Properties of Titanium Metal, September, 1948.
20. Northcott McLean, *J. Iron Steel Inst.*, 157 (1947).
21. Milek J. T., ASM Metals Handbook, 1948.
22. Dean R. S., Long J. R., Hayes E. T., Root, *Trans. AIMME*, 171 (1947).
23. Titanium—the Metal with a Future, *Engin. Min. J.* (June, July 1949).
24. Du Mont C. S., Bibliography on Titanium, Its Production, Properties and Uses (1900—1946), Battelle Mem. Inst., 1947.
25. Lindgren W., Mineral Deposits, McGraw—Hill Book Co., 1933.
26. Carpenter L. G., Reawell F. R., *Metallurgia* (December, 1948).
27. Waggaman W. H., Gee E. A., *Federal Sci. Progress* (June, 1947).
28. Dean R. S., Long J. R., Wortman F. S., Anderson E. L., *Trans. AIME*, 166, 1946.

高純鈦的机械性能与物理性質^①

I.E.坎伯尔, R.S.札非, J.M.布罗协, J.茅莱特, B.W.尚薩尔

緒 言

在技术文献內，除了一些硬度的測定資料外，沒有刊載过有关碘化物法提取的鈦的机械性能的資料。因此測定碘化物法鈦的强度極限，硬度以及鈦棒和鈦条冷加工后的机械性能变化是絕對有益的。

硬度試驗

碘化物法鈦的硬度，由於提取条件特別是原金屬內雜質含量的影响，因而不是經常能正确測定的。在規定的操作条件下，提取金屬硬度的測定成为檢查沉淀碘化物法鈦純度的簡便方法。

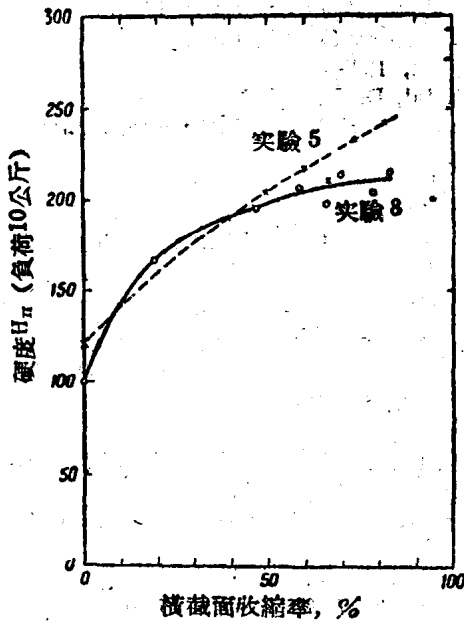


圖 1 碘化物法鈦棒於 10 公斤負荷下硬度 H_n 隨冷壓縮程度的增加而变化的情况

文献 [7.] 中所載二个鈦試样的硬度值在負荷 5 公斤时等於硬度 H_n 122 和 183。本文中所获得的鈦棒的硬度在 10 公斤負荷下約为硬度 H_n 90，虽然在一些試驗中曾經得到很低的值——60 及很高的值——135。为了进行比較，可以指出，用粉末燒結法制备的鍛造鎂热法鈦的退火試样的硬度 H_n 为 225—250。

冷加工對於直徑为 7.6—8.6 毫米压制至直徑为 3.2 毫米的兩根鈦棒的影响如圖 1 中曲線所示。在冷加工前，兩根試样的硬度略高於正常硬度。当較軟試样（实验 8）冷压后，並原截面收縮 83% 时，其硬度只增加至硬度 H_n 210（負荷为 10 公斤）；同时在截面收縮 50% 后，硬度值变成相当的固定。而另一鈦棒的硬度則随压下量的增加有显著的增高。

抗張試驗

曾制备直徑为 3.2 毫米的冷加工鈦棒用作抗張試驗，鈦棒各壓縮至不同程度但不超过 85%。每經一定的壓縮程度，間隔的取試样（实验 5 的）在 850° 下於高度真空中

① Campbell I.E., Jaffee R.S., Blocher J.M., Gurland J., Gonsor B.W., Transactions of the Electrochemical Society, 93, 271—285 (1948).