

钛在化工中的应用

上海化学工业设计院石油化工设备设计建设组

(上海南京西路1856号)

上海海峰印刷厂印刷

工本费: 1.50 元

毛主席语录

中国人民有志气,有能力,一定要在不远的将来,赶上和超过世界先进水平。

对于外国文化,排外主义的方针是错误的,应当尽量吸收进步的外国文化,以为发展中国新文化的借镜;盲目搬用的方针也是错误的,应当以中国人民的实际需要为基础,批判地吸收外国文化。

我们必须打破常规,尽量采用先进技术,在一个不太长的历史时期内,把我国建设成为一个社会主义的现代化的强国。

前 言

为适应当前化肥及石油化工生产发展的需要，配合引进大型合成氨及三大合成装置的建设，了解并掌握国外有关技术动向与水平，我组将针对石油、化工设备的有关课题，分专题组织翻译出版国外有关资料、文献。

钛是一种新型的优良耐腐蚀金属材料，国外用于各种强腐蚀介质的化工设备、管道、泵、阀门等。钛材在国内化工设备方面的制造与使用还是一个新事物。近年来冶金工业部门亦积极向石油、化工部门推广、使用钛材。为此，我们整理了1973年十一月冶金部于宝鸡召开的“第一次钛及钛合金学术报告会”有关资料，并组织翻译了近年来国外有关钛设备设计、制造、应用及耐蚀性的资料、文献。由于内容较多，拟分册出版。本册为第三册，系钛设备结构与制造工艺的译文集，其中大部篇幅取材于苏联“ТИТАН И ЕГО СПЛАВЫ В ХИМИЧЕСКОМ МАШИНОСТРОЕНИИ”(1968年版)一书的部分章节，并收入了“日本锅炉协会”制订的钛爆炸复合钢板及其加工的标准及有关文章。“化工设备制造中的钛及钛合金”一文分别由上海化工设计院孙智宽同志及成都291信箱203分箱甘建衡同志等译校，“钛复合板及其加工”系上海化工设计院姚三宝同志承译，本组作了技术校对，“钛清洗的一般方法”一文系摘自北京金属结构厂的有关译文资料。

由于水平所限，错误之处望请指正。

本书出版过程中承上海高桥化工厂、一机部通用机械研究所大力支持，一并于此致谢。

上海化学工业设计院石油化工设备设计建设组

1976年6月

目 录

化工设备制造中的钛及钛合金

第一章 化工设备用钛及其合金的化学成分、物理与机械性能·····	(1)
第二章 钛制化工设备的设计及结构·····	(12)
第三章 钛及钛合金的压力加工·····	(54)
第四章 钛及其合金的焊接·····	(78)
第五章 钛制化工设备零部件装配与焊接夹具·····	(96)

钛复合板及其加工

钛复合钢板标准(附编制说明)·····	(114)
钛复合钢板加工标准(附编制说明)·····	(118)

其 他

钛清洗的一般方法·····	(124)
---------------	-------

第一章 化工设备用钛及其合金的 化学成分、物理与机械性能

用碘化法获得的最纯的钛中含 99.95% 以上的钛，主要的杂质有低于 0.01% 的氧，低于 0.006% 的氮，少于 0.04% 的铁，以及小于千分之几的其他元素（钾、铝、锰、硅、镍、钼、氢等）。

用此方法获得的钛，有下列机械性能：瞬时断裂强度 25 公斤/毫米²，屈服极限 15.4 公斤/毫米²，相对延伸率为 50%，横向断面收缩率 78%，硬度 HB132。

氢、氧杂质经常存在于钛中，是最牢固的杂质，氢、氧含量容易增多的原因在于钛的多数化学成分同这些元素相化合。含十分之几的氧使瞬时断裂强度与屈服极限大约增加 15 公斤/毫米²，但这时塑性急剧下降。氮的影响比氧更强烈，含 0.3~0.4% 氮的钛完全变脆。在钛中存在炭提高瞬时断裂强度，并降低塑性。铁与硅的杂质给予同样影响。

在化工设备制造中，国外最广泛地应用具有高度耐蚀性的工业纯钛。

工业纯钛密度小，机械性能高，比其他钛合金更耐腐蚀。

苏联在化工设备制造中采用最多的工业纯钛牌号有 BT1-1, BT1-0 与 BT1-00，其化学成分列于表 1。

表 1 工业纯钛的化学成分(%)

钛 牌 号	Ti	杂 质 (不大于)						其 他 杂 质 总 量
		Fe	Si	C	O ₂	N ₂	H ₂	
BT1-1	基 体	0.25	0.12	0.08	0.15	0.05	0.012	0.3
BT1-0	”	0.18	0.10	0.07	0.12	0.04	0.010	0.3
BT1-00	”	0.12	0.08	0.05	0.10	0.04	0.008	—

焊接的化工设备采用 BT1-1，允许杂质含量：氮小于 0.04%；氢小于 0.01%。

当氮与氢含量超过表 1 的上限时，工业纯钛焊接时具有形成裂纹的倾向。

钛 BT1-1, BT1-0 与 BT1-00 主要的机械与物理性能列于表 2。

钛 BT1-1, BT1-0 与 BT1-00 的物理性能，实际上一致。工业纯钛导热系数小，膨胀系数小，弹性模数低。

在高温下工业纯钛的强度急剧下降(表 3)。

厚度 5 毫米的工业纯钛 BT1-1 拉伸试验如表 3 所示。

由表 3 可知，在温度提高到 200℃，延伸率增加，而当进一步提高到 400℃时，降低到最小值，而随后在温度 800℃时，急剧增加(到 5 倍)。

表 4 引用广泛用于化工设备制造中的 1Cr18Ni9Ti 耐蚀钢，在常温与高温下机械性能比较。1Cr18Ni9Ti 试样在温度 1130~1160℃ 下淬火(在空气或水中冷却)，并在 800℃ 下时效 10 小时。

表 2 在 20°C 下工业纯钛主要机械与物理性能

指 标	牌 号		
	BT1-1	BT1-0	BT1-00
瞬时断裂强度(公斤/毫米 ²)	45~60	35~50	30~45
屈服极限(公斤/毫米 ²)	38~50	30~42	25~38
延伸率(%) ≥	25	30	30
断面收缩率(%) ≥	50	60	60
弹性模数(公斤/毫米 ²)	10500~11000		
剪切模数(公斤/毫米 ²)	4000~4500		
密度(克/厘米 ³)	4.5		
导热系数瓦/(米·度)[千卡/(厘米·秒·度)]	16.3(0.039)		
线膨胀系数	8.3×10^{-6}		
波桑系数	0.38		
磁性	无磁性		

表 3 5 毫米厚的 BT1-1 钛板各种温度下的机械性能

试 验 温 度 (°C)	瞬时断裂强度(公斤/毫米 ²)		屈服极限(公斤/毫米 ²)		延 伸 率 (%)		断 面 收 缩 率 (%)	
	横 向*	纵 向*	横 向	纵 向	横 向	纵 向	横 向	纵 向
20	49	51	43	39	24	24	59	51
100	41	42	37	33	25	25	64	56
200	32	32	32	24	32	29	72	65
300	20	22	18	14	23	27	80	79
400	18	20	12	11	15	19	83	81
500	15	17	9	8	32	37	96	92
600	6	6	6	5	61	70	100	100
700	3	3	2	2	68	75	100	100
800	2	2	1	1	73	84	100	100

* 横向与纵向均指相对于轧制方向而言，下同。

表 4 耐蚀钢 1Cr18Ni9Ti 在各种温度下的机械性能

温 度 (°C)	瞬时断裂强度 (公斤/毫米 ²)	屈 服 极 限 (公斤/毫米 ²)	延 伸 率 (%)	断 面 收 缩 率 (%)	冲 击 韧 性 (公斤·米/厘米 ²)
20	66	31	55	76	26
100	51	25	44	77	—
200	47	21	38	70	37
300	45	22	29	66	—
400	45	22	27	64	38
500	43	21	30	65	37
600	36	21	29	65	36
700	28	21	30	58	34

由表 4 可知，在高温下 1Cr18Ni9Ti 塑性下降。

厚板(板厚 12 与 25 毫米)钛 BT1-1 在 20, 150 与 200°C 下的机械性能试验结果，列于表 5(省略)、表 6 中。表 7 与表 8 是厚度 1 与 2 毫米的钛板 BT1-0，在 20~700°C 的温度范围内，机械性能试验结果。

表 6 厚度 25 毫米的钛厚板 BT1-1 在各种温度下的机械性能

试 验 温 度 (°C)	瞬时断裂强度(公斤/毫米 ²)		屈服极限(公斤/毫米 ²)		延 伸 率 (%)		断 面 收 缩 率 (%)	
	横 向	纵 向	横 向	纵 向	横 向	纵 向	横 向	纵 向
20	53	47	47	39	21	22	47	44
150	35	30	30	25	25	29	52	47
200	29	26	26	20	29	34	60	49

表 7 厚度 1 毫米的钛板 BT1-0 在各种温度下的机械性能

试 验 温 度 (°C)	瞬时断裂强度(公斤/毫米 ²)		屈服极限(公斤/毫米 ²)		延伸率 $L_0=11.3\sqrt{F_0}$ (%)		断 面 收 缩 率 (%)	
	横 向	纵 向	横 向	纵 向	横 向	纵 向	横 向	纵 向
20	43	42	38	38	28	27	74	71
100	31	32	28	29	25	26	66	64
200	21	25	19	20	22	26	73	74
300	21	20	15	17	20	20	82	72
400	19	18	17	17	23	15	99	73
500	10	14	6	12	68	18	96	76
600	4	4	2	2	101	74	97	96
700	3	2	2	2	103	试样燃烧	99	试样燃烧

表 8 厚度 2 毫米钛板 BT1-0 各种温度下的机械性能

试 验 温 度 (°C)	瞬时断裂强度(公斤/毫米 ²)		屈服极限(公斤/毫米 ²)		延伸率 $L_0=11.3\sqrt{F_0}$ (%)		断 面 收 缩 率 (%)	
	横 向	纵 向	横 向	纵 向	横 向	纵 向	横 向	纵 向
20	41	42	33	33	21	21	76	69
100	33	38	30	22	23	23	76	71
200	29	32	23	20	27	25	76	70
300	22	24	17	17	36	26	80	81
400	20	21	16	16	18	28	74	76
500	15	14	11	12	6	16	39	79
600	8	9	4	7	47	40	95	96
700	3	3	2	2	77	82	99	97

苏联化工设备制造中,亦采用钛-铝-锰合金 OT4-1 与 OT4(表 9)。

对于化工设备焊接用钛,氮的杂质含量应小于 0.04%,氢含量应小于 0.01%。当氮与氢的含量超过表 9 上限时,产品在焊接时有形成裂纹的倾向。

表 9 钛合金 OT4-1 与 OT4 化学成分(%)

牌 号	Ti	Al	Mn	杂 质 (不大于)						其他杂质 总 量
				Fe	Si	C	O ₂	N ₂	H ₂	
OT4-1	基 体	1.0~2.5	0.5~1.8	0.3	0.15	0.1	0.15	0.05	0.12	0.3
OT4	”	2.5~4.2	0.8~2.0	0.3	0.15	0.1	0.15	0.05	0.12	0.3

钛合金 OT4-1 与 OT4, 在 20°C 下主要物理与机械性能列于表 10。

钛合金 OT4-1 在高温下的机械性能列于表 11 中。

表 10 20℃时钛合金 OT4-1 与 OT4 主要机械与物理性能

指 标	OT4-1	OT4	指 标	OT4-1	OT4
瞬时断裂强度(公斤/毫米 ²)	60~75	70~90	密度(克/厘米 ³)	4.55	4.55
屈服极限(公斤/毫米 ²)	47~65	55~65	导热系数 瓦/米·度(千卡/厘米·秒·度)	9.63(0.023)	8.37(0.02)
延伸率(%)	20~40	15~40	剪切模数(公斤/毫米 ²)	—	4000
断面收缩率(%)	—	25~55	线膨胀系数	8.0×10^{-6}	8.0×10^{-6}
冲击韧性(公斤·米/厘米 ²)	5~10	3.5~6.5	磁性	无磁性	
硬度 HB	210~250	—			
弹性模数(公斤/毫米 ²)	10500	11000~12000			

表 11 钛合金 OT4-1 板在高温下的机械性能

试验温度 (℃)	瞬时断裂强度 (公斤/毫米 ²)	屈服极限 (公斤/毫米 ²)	延伸率 (%)	弹性模数(动) (公斤/毫米 ²)	试验温度 (℃)	瞬时断裂强度 (公斤/毫米 ²)	屈服极限 (公斤/毫米 ²)	延伸率 (%)	弹性模数(动) (公斤/毫米 ²)
350	33~48	25~42	13~25	10600	450	30~43	—	15~35	10000
400	31~45	24~39	12~25	10300					

钛合金 OT4 在常温、高温与 0~70℃ 的低温下的机械性能列于表 12 与 13 中。

为了制造各种化工设备：换热器，塔器，贮罐，预热器，衬里化工设备以及管道，附件，离心机转鼓、泵、其他化工设备与容器的零部件，在西德广泛采用弗·克虏伯公司的工业纯钛 RT，以及钛合金 LT(表 14~16)。

表 12 钛合金板 OT4 在各温度下的机械性能*

试验温度 (℃)	试样纤维方向	瞬时断裂强度 (公斤/毫米 ²)	屈服极限 (公斤/毫米 ²)	延伸率(%)	断面收缩率 (%)	冲击韧性 (公斤·米/厘米 ²)
20	横 向	81	73	14	46	11
		83	70	13	33	5
100	横 向	62	58	19	64	15
		65	52	11	40	6
200	横 向	57	51	20	66	17
		59	49	10	48	8
300	横 向	54	50	16	68	22
		58	47	10	48	11
400	横 向	49	46	18	65	22
		54	44	10	45	12
500	横 向	35	32	26	90	24
		38	32	30	76	15
600	横 向	16	14	45	93	27
		16	12	53	93	13
700	横 向	6	6	103	99	—
		6	5	88	98	—

* 拉伸试验试样厚 3 毫米；冲击韧性试验试样厚 5 毫米。

表 13 钛合金板 OT4 在低温下的机械性能*

试验温度 (°C)	试样纤维方向	瞬时断裂强度 (公斤/毫米 ²)	屈服极限 (公斤/毫米 ²)	延伸率 (%)	断面收缩率 (%)	冲击韧性 (公斤·米/厘米 ²)
0	横 向	86	83	14	40	8
		88	76	13	35	5
-20	横 向	89	84	13	37	6
		92	77	12	32	4
-40	横 向	91	85	12	37	5
		92	81	11	32	4
-50	横 向	96	91	11	31	4
		97	84	11	30	4
-60	横 向	98	93	11	31	4
		98	85	11	29	4
-70	横 向	98	93	10	30	4
		99	85	8	26	3

* 拉伸试验试样厚 3 毫米；冲击韧性试验试样厚 5 毫米。

表 14 西德用钛的化学成分

牌 号	Ti	Al	V	杂 质 (不大于)				
				Fe	C	(O ₂)	N ₂	H ₂
RT-12	基 体	—	—	0.20	0.08	(0.20)	0.05	0.0125
RT-15	”	—	—	0.25	0.08	(0.25)	0.06	0.0125
RT-18	”	—	—	0.35	0.10	(0.40)	0.07	0.0125
LT-31	”	5.5~7.0	3.5~4.5	0.25	0.08	(0.20)	0.07	0.0125

表 15 西德各种钛的物理性能

指 标	工业纯钛 RT-12, RT-15, RT-18	钛 合 金 LT-31
密度(克/厘米 ³)	4.5	4.43
弹性模数(公斤/毫米 ²)	11000	11000
剪切模数(公斤/毫米 ²)	4500	—
熔化温度(°C)	1700	1680
比热容(千卡/克·度)	0.125	0.134
导热系数 瓦/米·度[千卡/厘米·秒·度]	16.7(0.04)	6.3/0.015
比电阻 微欧·米(欧·毫米 ² /米)	0.50(0.50)	1.66(1.66)
线膨胀系数(20~100°C)	8.5×10^{-6}	8.6×10^{-6}
磁性	无磁性	

表 16 20°C 下各种钛的机械性能(西德)

指 标	RT-12	RT-15	RT-18	LT-31
瞬时断裂强度(公斤/毫米 ²)	30~42	40~55	55~75	90~115
屈服极限(公斤/毫米 ²)	20	28	45	84
延伸率(%)不小于	30	22	16	10
断面收缩率(%)不小于	60	60	40	25
硬度 HB	100~150	140~200	最小 170	260~340
冲击韧性(公斤·米/厘米 ²)	12~25	15	8	4

钛牌号 RT-12, RT-15, RT-18 化学成分的区别, 在于铁、氧、氮等杂质含量不同, 这些杂质影响钛的强度与塑性, 不降低其耐蚀性。

各种钛在 20~800℃ 温度范围内, 拉伸强度性能的资料, 列于表 17 中。

表 17 钛在各种温度下强度性能的变化(西德) (公斤/毫米²)

试验温度 (℃)	工 业 纯 钛						钛 合 金	
	RT-12		RT-15		RT-18		LT-31	
	瞬时断裂强度	屈服极限	瞬时断裂强度	屈服极限	瞬时断裂强度	屈服极限	瞬时断裂强度	屈服极限
20	36	20	50	34	62	48	102	94
100	30	15	40	27	50	37	—	—
200	23	12	32	22	40	30	83	78
300	19	10	26	18	32	24	—	—
400	16	9	22	14	26	19	71	66
500	12	6	17	10	20	15	—	—
600	8	4	11	6	14	10	37	34
700	5	2	6	2	9	6	—	—
800	3	—	3	—	4	2	—	—

钛 RT-12, RT-15 及 RT-18, 在各种温度下弹性模数, 线膨胀系数与比电阻值的变化, 列于表 18 中。

表 18 钛 RT-12, RT-15 与 RT-18 在各种温度下弹性模数、
线膨胀系数与比电阻的变化(西德)

温 度 (℃)	弹性模数 (公斤/毫米 ²)	线膨胀系数	比电阻 微欧·米 (欧·毫米 ² /米)	温 度 (℃)	弹性模数 (公斤/毫米 ²)	线膨胀系数	比电阻 微欧·米 (欧·毫米 ² /米)
20	11300	8.0×10^{-6}	0.50(0.50)	500	7700	10.0×10^{-6}	1.30(1.30)
100	10900	8.5×10^{-6}	0.65(0.65)	600	7100	10.1×10^{-6}	1.42(1.42)
200	10300	9.2×10^{-6}	0.83(0.83)	700	—	10.2×10^{-6}	1.54(1.54)
300	9400	9.6×10^{-6}	1.00(1.00)	800	—	10.3×10^{-6}	1.62(1.62)
400	8500	9.8×10^{-6}	1.15(1.15)	900	—	10.4×10^{-6}	1.50(1.50)

日本广泛采用神户制钢厂生产的工业纯钛 KS-50 与 KS-70(表 19 与 20)制作化工设备。

表 19 KS-50 与 KS-70 钛的化学成分(%)

牌 号	Ti (最小)	C	Fe	Si	O ₂	N ₂	H ₂ (不大于)
KS-50	99.5	0.02~0.08	0.02~0.15	0.02~0.10	0.01~0.10	0.001~0.01	0.01
KS-70	99.4	0.02~0.08	0.02~0.30	0.02~0.10	0.01~0.10	0.001~0.02	0.01

表 20 KS-50 与 KS-70 钛的机械性能

指 标	钛 牌 号		指 标	钛 牌 号	
	KS-50	KS-70		KS-50	KS-70
瞬时断裂强度(公斤/毫米 ²)	35~49	49~70	断面收缩率(%)	40~70	40~60
屈服极限(公斤/毫米 ²)	25~45	35~65	硬度 HB	110~145	146~200
延伸率(%)	30~45	20~35			

在全苏化工机械制造科学研究所中,对日本神户制钢厂产品 KS-50 (板厚 1.6 毫米)进行了机械性能检查(表 21)。

表 21 日本神户制钢厂厚 1.6 毫米的 KS-50 钛板的机械性能

试验温度 (°C)	试样纤维方向	瞬时断裂强度 (公斤/毫米 ²)	屈服极限 (公斤/毫米 ²)	延伸率 (%)	断面收缩率 (%)
20	横	37	26	43	76
	纵	38	29	38	74
200	横	23	19	47	78
	纵	23	15	41	77
300	横	17	5	41	87
	纵	17	6	45	82
750	横	1	1	98	96
	纵	1	1	116	97

外径 25 毫米,壁厚 2 毫米的 KS-50 钛管,压扁到管壁重合,用锥体扩管到直径 28 毫米,并卷边到 37 毫米,这些试验得到良好的结果。

改变氧与氮等杂质含量,对工业纯钛的性能,给以很大的影响。

关于钛 KS-50 与 KS-70,在温度 20~450°C 范围内,瞬时断裂强度与屈服极限变化资料,列于表 22 中。

表 22 KS-50 与 KS-70 在各种温度下强度的变化 (公斤/毫米²)

试验温度 (°C)	KS-50		KS-70		试验温度 (°C)	KS-50		KS-70	
	瞬时断裂强度	屈服极限	瞬时断裂强度	屈服极限		瞬时断裂强度	屈服极限	瞬时断裂强度	屈服极限
20	41	26	55	46	300	16	7	24	10
100	30	20	41	31	400	13	5	19	8
200	21	13	30	18	450	11	5	17	8

日本工业纯钛在高温下,瞬时断裂强度与屈服极限值,相当强烈地下降。

日本神户制钢厂生产的工业纯钛,与其他金属物理性能的比较,列于表 23 中。

表 23 工业纯钛与其他金属物理性质比较

指 标	钛	锆	不 锈 钢 AISI 321*	指 标	钛	锆	不 锈 钢 AISI 321*
熔化温度(°C)	1725	1845	1400~1427	导热系数 瓦/米·度	17.17	16.75	12.98
密度(克/厘米 ³)	4.54	6.49	8.03	(千卡/厘米·秒·度)	(0.041)	(0.040)	(0.031)
弹性模数(公斤/毫米 ²)	10850	9100	20300	线膨胀系数	9.0×10^{-6}	5.8×10^{-6}	16.5×10^{-6}
波桑系数	0.34	0.33	0.30				

* 不锈钢 AISI 321 属于 18-8-Ti 型。

日本神户制钢厂生产的工业纯钛,密度、弹性模数、线膨胀系数,比 18-8 型耐酸钢大约小 2 倍。

美国亦采用工业纯钛(表 24 与 25)及钛合金制造化工容器。

表 24 美国工业纯钛的机械性能

公 司	牌 号	瞬时断裂强度 (公斤/毫米 ²)	屈 服 极 限 (公斤/毫米 ²)	延 伸 率 (%)	断面收缩率 (%)
Ринаблнк Стл	RS-40	46	35	28	55
	RS-50	53	42	25	50
	RS-70	63	53	20	45
Рем-Крю	RC-A-55	46	38	20	45
	RC-A-70	56	49	15	40
Тайтениум Мстэлз	Ti75A	56	49	20	45
	Ti100A	70	63	15	40
Маллори-Шарон	MST (3 级)	53	35	25	55
	MST (4 级)	70	60	18	45

表 25 美国工业纯钛的化学成分 (%)

牌 号	Ti	Fe	C	O ₂	N ₂	其 他 元 素
RS-50	基 体	—	0.2(最大)	—	—	—
RS-70	"	—	0.2(最大)	—	—	—
Ti75A	"	0.1	<0.04	—	0.02	W-0.08
Ti100A	"	0.1(最大)	0.2(最大)	0.2(最大)	0.2(最大)	—
MST(3 级)	"	0.25	0.03	—	0.04	0.18

美国克鲁塞蒲钢铁公司(Crucible Steel Company of America) 生产的工业纯钛与钛合金, 列于表 26。

表 26 美国克鲁塞蒲钢铁公司工业纯钛及其合金产品

牌 号	屈服极限 (公斤/毫米 ²)	半 成 品 状 态						成 分	金 属 的 一 般 特 性
		薄板	棒	板	条	厚板	线		
A-40	28	×	×	×	×	×	×	工业纯钛	塑性, 一般的耐蚀性, 成形能力
A-55	39	×	×	×	×	×	×	"	采用于要求压力加工与一般耐蚀性
A-70	49	×	×	×	×	×	×	"	高强度与一般耐蚀性
A-110AT	77	×	×	×	×	×	×	5%Al, 2.5%Sn 钛基 α 型合金	高温下有良好的可焊性同时有高强度
C-120AV	84	×	×	×	×	×	×	α-β 钛基合金含 6%Al, 4%V	比强度高, 抗蠕变, 以及低温下良好的韧性
B-120VCA	84	×	×	×	×	×	×	钛基 β 合金含13%V, 11%Cr, 3%Al	热处理保证最大的强度、塑性与成形能力
C-110M	77	×	×	×	×	×	×	α-β 钛基合金含 8%Mn	高温下很好的强度, 最大的塑性
C-135AMo	95	×	×	—	—	×	—	α-β 钛基合金含 7%Al 与 4%Mo	在常温与高温下同其他 α-β 型钛合金比较, 热处理保证高强度
C-130AM	91	×	×	—	—	×	×	α-β 钛基合金含 4%Al 与 4%Mn	在低塑性下高强度、抗蠕变、稳定性与良好的可锻性
C-115AMCV	81	—	—	×	×	×	—	钛基合金含 4%Al, 3%Mo 与 1%V	热处理保证良好的强度、塑性与成形能力

在化学工业中，通常采用工业纯钛，因为它比钛合金价廉，并且容易加工。最广泛的工业纯钛 A-55，在大多数情况下有足够的强度、良好的加工性与焊接性。

当加工必须引起大的金属变形的情况下，例如深拉时，推荐采用工业纯钛 A-40。

在制造某些化工设备时(喷雾干燥器、喷嘴、离心机零件等)，要求金属有某种高强度或硬度值，以及耐蚀性，在这种情况下可采用钛合金。若制造需要焊接的设备时，则推荐下列牌号的钛合金：A-110AT, C-120AV 或 B-120AV。这些钛合金的耐腐蚀性，类似于工业纯钛的耐腐蚀性。钛合金牌号 C-110M, C-130AM, C-135AMO 与 C-115AMCV 认为无可焊性。

工业纯钛 A-40, A-55, A-70(美国克鲁塞蒲钢铁公司生产)的物理性能，同某些其他金属的性能比较的资料列于表 27(省略)。

法国《Титаниум》公司于 1955 年成立，于 1957 年开始工业生产海绵钛，而不久前在熔炼车间，达到每次熔炼钛锭 1 吨的能力。

《Титаниум》公司主要提供两种牌号(非合金)的工业纯钛 T-40 与 T-50 给化工设备制造及其他工业部门。

法国《Титаниум》公司生产的工业纯钛主要物理性能如下：

密度(克/厘米 ³)	4.5
熔化温度(°C)	1670
15°C 下的比热容(千卡/克·度)	0.125
25°C 下的线膨胀系数	8.5×10^{-6}
20°C 下的比电阻 微欧·米(欧·毫米 ² /米)	0.48(0.48)
弹性模数(公斤/毫米 ²)	10500

钛 T-40 与 T-50 的机械性能列于表 28。

表 28 工业纯钛 T-40 与 T-50 的机械性能

指 标	钛 牌 号		指 标	钛 牌 号	
	T-40	T-50		T-40	T-50
瞬时断裂强度(公斤/毫米 ²)	40	50	延伸率(最小) (%)		
屈服极限(公斤/毫米 ²)	28	35	棒状与锻制零件	20	20
硬度 HB	120~160	140~200	轧板(厚度小于 3 毫米)	27	24

《Титаниум》公司亦生产用于化工设备制造与其他工业部门的钛合金，其化学成分与机械性能分别列于表 29 与 30。

英国化工设备制造中采用帝国化学公司(I.C.I.公司)的工业纯钛与钛合金。表 31 为其常温下的机械与物理性能。

表 29 钛合金的化学成分(%)

合金牌号	Ti	Al	Mn	Sn	V	合金牌号	Ti	Al	Mn	Sn	V
T-A4M	基体	4.0	4.0	—	—	T-A5E	基体	5.0	—	2.5	—
T-A6V	”	6.0	—	—	4.0						

表 30 钛合金的机械性能

指 标	钛 合 金 牌 号			指 标	钛 合 金 牌 号		
	T-A4M	T-A6V	T-A5E		T-A4M	T-A6V	T-A5E
瞬时断裂强度(公斤/毫米 ²)	95	95	80	延伸率(最小)棒(%)	10	12	10
屈服极限(公斤/毫米 ²)	90	85	75	硬度 HB	280~330	280~330	280~330

表 31 英国 I. C. I. 公司生产的工业纯钛与钛合金的机械与物理性能

指 标	工 业 纯 钛						钛 合 金			
	钛 115	钛 120	钛 125	钛 130	钛 150	钛 160	钛 314C (2% Al, 2% Mn)	钛 314A (4% Al, 4% Mn)	钛 317 (5% Al, 2.5Sn)	钛 318A (6% Al, 4% V)
瞬时断裂强度 (公斤/毫米 ²)	41 最大	47 最大	39~55	47~63	55~71	63~79	63~79	96 最小	78 最小	96 最小
屈服极限 $\sigma_{0.2}$ (公斤/毫米 ²)不少于	21	24	28	35	39	47	47	88	70	90
δ (%)不少于	30	25	22	20	18	15	15	10	10	10
弹性模数(公斤/毫米 ²)	10500~ 11900	10500~ 11900	10500~ 11900	10500~ 11900	10500~ 11900	10500~ 12600	10500~ 12600	11200~ 13300	10500~ 12600	10500~ 11900
持久极限近似值 (%瞬时断裂强度)	50	50	50	50	50	50	60~65	60~65	60~65	60~65
密度(克/厘米 ³)	4.51	4.51	4.51	4.51	4.51	4.51	—	—	—	—
对于板厚 $S=1.625$ 毫 米的弯曲半径	—	2S	—	2S	—	3S	—	—	4S	4S

表 32 英国 I. C. I. 公司生产的工业纯钛同某些其他结构金属与合金物理性能比较

指 标	钛	铜	铝	碳 钢	不 锈 钢 18-8-Ti	蒙耐尔金属	哈斯特洛伊 -C	镁
熔化温度(°C)	1660±10	1084	660	1535	1500	1300~1350	1270~1305	650
密度(克/厘米 ³)	4.51	8.94	2.7	7.86	7.9	8.83	8.94	1.74
导热系数(20°C)瓦/米·度 (千卡/厘米·秒·度)	17.04 (0.0407)	385.19 (0.92)	238.65 (0.57)	71.18 (0.17)	15.91 (0.038)	25.96 (0.062)	12.56 (0.03)	146.54 (0.35)
20°C下的比电阻 微欧·米 (欧·毫米 ² /米)	0.554 (0.554)	0.017 (0.017)	0.027 (0.027)	0.100 (0.100)	0.730 (0.730)	0.480 (0.480)	1.330 (1.330)	0.044 (0.044)
50°C时的比热容克·焦耳/ 公斤·度 (千卡/克·度)	5.276 (0.126)	3.894 (0.093)	8.835 (0.211)	4.564 (0.109)	5.024 (0.120)	5.307 (0.127)	3.852 (0.092)	10.258 (0.245)
线膨胀系数(0~100°C)	8.9×10^{-6}	16.4×10^{-6}	24.0×10^{-6}	11.9×10^{-6}	16.0×10^{-6}	14.0×10^{-6}	11.3×10^{-6}	25.7×10^{-6}
弹性模数(公斤/毫米 ²)	10500	12250	7000	20400	20400	16100~ 18200	17150	4580

应当指出, 表 31 中列举的工业纯钛牌号差别仅仅在于调整钛的二氧化物, 二氧化物加入原始钛中, 以获得具有综合的机械性能, 这些添加的氧化物可以获得瞬时抗拉强度85~96公斤/毫米²的工业纯钛, 而无须冷加工。

添加铝，锰，锡或钒可增加到 85~96 公斤/毫米²。

更软的与塑性的 115, 120, 125 与 130 号的工业纯钛板，由于良好的成形与焊接性，成功地采用于碳钢化工容器与设备的钛衬里中。当正确进行焊接时，焊缝强度与塑性不亚于母材。但是压缩机的阀片，推荐由更硬的工业纯钛 160 或钛合金中的牌号制造。

表 32 列出了英国 I.C.I. 公司的工业纯钛的物理性能数据及与其他结构金属与合金的某些性能比较。表 31 与 32 指出，I.C.I. 公司的工业纯钛与钛合金，具有宽范围的机械性能，并类似于碳钢与高合金钢。

在液体氮温度下，钛的瞬时断裂强度与屈服极限，几乎比常温下大两倍，而在负温下的延伸率——仅百分之几。

第二章 钛制化工设备的设计及结构

一、钛制化工设备典型部件的结构

直径 100~350 毫米焊制筒体(图 1)

直径 100、150 和 200 毫米筒体壁厚 $S = 1 \sim 1.5$ 毫米, 而直径 200、300 和 350 毫米为 1.5~2.5 毫米。筒体毛坯长度按冲压内径实际尺寸确定, 用这种筒体焊接时按下式

$$L = \pi(D_{\text{ДН}} + S_{\text{об}})$$

若封头椭圆度在容许偏差范围内, 则内径尺寸采用一些测量的平均值。

直径 100~200 毫米和 250~350 毫米的筒体毛坯长度 L 公差相应规定为 0.3 和 0.5 毫米。纵向焊缝焊接毛坯边的不平行度, 在长度 1000 毫米内不应超过 0.3 毫米。

筒体焊边之间的局部间隙应在 0.15 毫米范围, 总长度不大于 25% 焊边长度, 而错边量不应超过板厚的 10%。筒体纵缝用无填充金属不熔化电极自动氩弧焊接。

焊接容许减弱深度不大于 10% 金属厚度。筒体焊后应校圆。直径 100~200 毫米筒体端面对母线不垂直度规定为 0.2 毫米, 直径 250~350 毫米为 0.3 毫米。

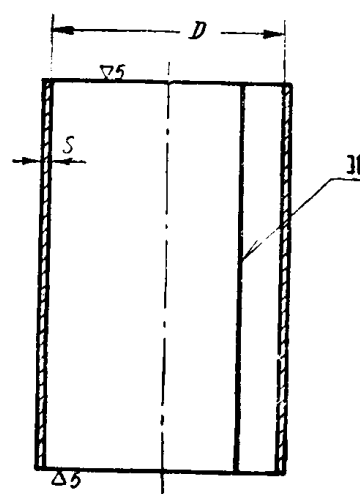


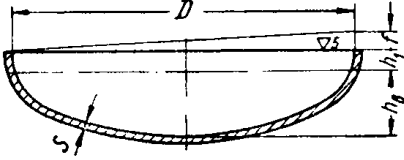
图 1 直径 100~350 毫米
焊接筒体

折边椭圆形封头

以整块板用冲压做成封头毛坯, 冲压封头应热处理最后酸洗。椭圆形封头尺寸列在表 33 中。

表 33 折边椭圆形封头

(单位: 毫米)

	封头直径 D	椭圆部分的高度 h_B	圆筒部分高度 (直边) h_1	壁厚 S
	100	25	15	1.0~1.5
	150	38	15	1.0~1.5
	200	50	20	1.0~1.5
	250	63	20	1.5~2.5
	300	75	25	1.5~2.5
	350	88	25	1.5~2.5

封头直径误差应在下面范围: 直径 100~200 毫米为 +1.0 毫米和直径 250~350 毫米为 +1.5 毫米; 封头椭圆度不大于直径公差之半; 封头圆筒部分锥度在保持直径公差时为 0.7 毫米; 冲压封头壁厚减薄为不大于 10%。

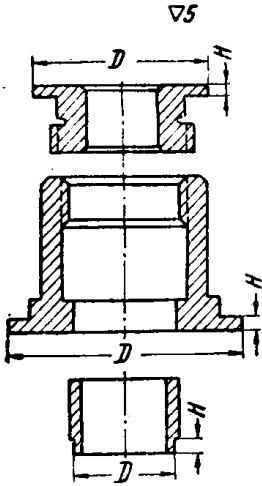
直径 100~200 毫米封头圆筒部分端面跳动允许 0.3 毫米和直径 250~300 毫米封头圆筒部分端面跳动允许 0.5 毫米。在封头端面检查时板间隙不应超过 0.1 毫米。冲压封头表面不允许有降低强度的皱纹、凸起、裂纹、刻痕、凹痕和其他缺陷。

封头接管

钛 BT1-1 和钛合金 OT4-1 及 OT4 制棒材应符合技术条件要求 AMTY451-59 (轧制棒材)或 AMTY487-62, AMTY487-1-62, AMTY487-6-62, AMTY487-5-62 (压制棒材)或 AMTY368-62, AMTY368-1-62, AMTY368-6-62, AMTY368-5-62 (锻制棒材)。接管尺寸列于表 34 中。

表 34 封 头 接 管

(单位: 毫米)

	设备内径	壁 厚	D	H
	100	1.0 1.5	30 C _s	1.0 1.5
150	1.0 1.5	40 C _s	1.0 1.5	
200	1.0 1.5	50 C _s	1.0 1.5	
250	1.5 2.0 2.5	60 C _s	1.5 2.0 2.5	
300	1.5 2.0 2.5	65 C _s	1.5 2.0 2.5	
350	1.5 2.0 2.5	70 C _s	1.0 2.0 2.5	

加工接管表面不应有裂纹、斑疤、刻痕和其他缺陷。锐边应磨钝, 接管的形状和尺寸(指边)由设备技术要求确定。

焊有接管的封头(图 2)

管子焊边和封头之间间隙及边的偏移不应超过 0.1 毫米。接管在焊接前应用溶剂(丙酮、四氯化碳等)去除油脂, 而边和靠近边的封头金属表面应在两面距离 20~30 毫米以金属刷子仔细刷干净并用溶剂去除油脂。

采用无填充金属不熔化电极的自动氩弧焊焊接接头, 焊缝减薄允许深度不大于 10% 金属厚度。

贮槽(图 3)

内径 100~200 毫米设备壁厚 1~1.5 毫米, 而内径 250~350 毫米设备壁厚 1.5~2.5 毫米。焊边之间局部间隙不应超过 0.15 毫米, 焊边长度 ≤ 总长度的 25%, 而错边量不应超过