

## 技術資料

### 金属チタンの製錬と加工 (III)

高尾 善一郎\*・草道 英武\*\*

#### FACTS ABOUT TITANIUM AND ITS ALLOYS (III) —REVIEW—

*Zenichiro Takao and Hidetake Kusamichi*

Synopsis: Refer to p. 127, Feb. (1956) (2月号 138 ページよりつづく)

#### XIV. 金属チタンおよびチタン合金の加工法

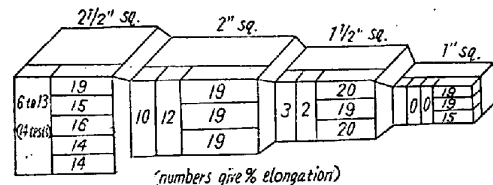
金属チタン及びチタン合金の加工設備としては鉄鋼用諸設備を流用したものが多く、然し作業方法は上述した通りチタンには鋼と異つた多くの特性がある関係上チタンに最も適したものを採用しなければならない。特にチタンは酸素、窒素等との化学親和力が大きいので之等ガスの吸収が鍛造、熱間圧延、押出し加工等の為の加熱中過度にならぬ様注意が必要である。之等のガスを吸収したチタンは著しく脆化し之がチタン製品の内部にまで浸透すると除去する方法がない。又水素は水素脆性の原因となる。我が国のスポンジチタン及び之を溶解加工して製造したチタン中には水素が少なく特にその性質の優れていることが証明されているが、一般に水素の多いスポンジチタンを溶解加工してその最終製品に水素が多く含まれたものは使用中に割れを生じるので危険な材料と考えられている。水素を除去するには真空溶解又は真空焼鈍を実施すればよいが加工中に水素が多くならぬ様注意することが一番必要である。チタン合金の加工に対しては更に前述の熱処理を充分考慮しなければならない。

その他チタン及びチタン合金の加工に際して特に注意しなければならないことは材料価格が鋼その他の材料に比して格段に高いのであるから廃却品が出ない様に加工中絶えず品質試験を実施することである。以下各鍛造、圧延、押出し、伸線、チューピング<sup>15)</sup>及び切削<sup>16)17)</sup>等の加工法に就て述べることにする。

##### (1) チタン及びチタン合金の鍛造

チタン及びチタン合金の鍛造はガス汚染が内部まで浸透するのを防ぐ為に鍛造温度は許容される範囲で出来るだけ低くしなければならない。チタン合金の鍛造を $\alpha + \beta$ 領域で実施すると状態図に従つて組織が安定化し易く且つ $\alpha$ 及び $\beta$ の均一微細な equiaxed mixture 又は

lamellar structure が得られる結果機械的性質もよくなり高温で使用する時にも安定性がよい。然し合金の中にはこの温度で強度の加工を加えると繊維状組織が発達し鍛造方向と直角方向の伸びが激減するものもあるから注意を要する。Ti-150A 合金の step down forging によつて得られた伸び率の数字を示すと Fig. 49 の通りである。炉温は 920°C で一回加熱鍛造したものである。夫々のチタン合金に対して夫々適当な鍛造方案及び鍛造方法の詳細な研究が必要とされているにも拘らず現在その研究は充分でない。



step-down forging of Ti 150A

Fig. 49. Elongation values obtained in a step-down forging of Ti 150A alloy, forging was accomplished in one heat in the alpha plus beta region, furnace temperature = 920°C.

鍛造方向と直角方向の展延性を特に必要とする場合には繊維状組織の発達を防ぐためにまず高温 $\beta$ 領域で荒鍛造を行う。この温度ではチタンおよびチタン合金の変形能は大きいので小さい力で大きな変形を与えることができる。最後に上述した理由から $(\alpha + \beta)$ 領域で加工度を余り大きくすることなく鍛造すればよい。一般には鍛造は $\beta$ 領域で始めて $(\alpha + \beta)$ 領域で終了するので上述の2段階式鍛造は必要でなく1回で実施する。Table

\* 大阪チタニウム製造株式会社取締役

株式会社神戸製鋼所研究部長

\*\* 株式会社神戸製鋼所研究課

Table 18 Usual forging temperatures in °C.

Alloys	Break down of ingts	Heavy die forgings	Small drop forgings
Commercially super pure (KS-50)	850~950	750~900	650~800
Unalloyed grade (KS-70, AMS 4921)	900~1000	800~900	700~850
Alpha-plus-Beta Alloys (Ti-140A, RC-130A, Ti-150A)	950~1050	850~1000	750~900
Alloys with Al-Content ≤ 4% (RC-130B, MST-3Al-5Cr, KS-130A)	1000~1100	900~1000	800~950
Alloys with Al-Content > 4% (A-110A, Ti-155AX, KS-150A, KS-150B, 6Al-4V)	1050~1150	950~1100	900~1050

18 に鍛造加熱温度を示した。従つて鍛造材の温度はこれより低くなる。この温度より高い温度で鍛造してもチタンおよびチタン合金の変形能は余り変化しないので無意味である。

鍛造機械は鋼の鍛造に用いられる通常の設備でよいが titanium flow は幾分困難であるから約 30% 鋼より大きなエネルギーを必要とする。従つて幾分容量の大きいハンマーまたはプレスを用いなければならない。水圧プレスは大型鍛造品に適當である。Wyman-Gordon Co. および Kropp Forging Co. では各寸法のチタン合金の compressor wheels を大型水圧プレスで製造している。また Bethlehem Steel Co. の Slick Mill で約 75cm 直径のチタン合金 compressor wheels を roll forging した報告もある。これ等の加熱鍛造加工中には水素の吸収がない様注意することと鉄スケールに接触させない様に注意することが特に必要であることが最近明らかにされた。

Die forging ではコロイド状グラファイトを軽油中に含めた潤滑剤を用いる。

チタンおよびチタン合金はグラインダーで表面傷を取り除く時に表面にグラインダークラックを発生することが多い。

現在までにまだ適当なグラインダー加工法が発見されていないので注意して実施するより他に対策はない。

酸化層の除去にはサンドブラストが用いられる。然し 0.025mm 以上の厚い層はサンドブラストで除去し得ないのが欠点である。従つて多くの鍛造品は切削加工して表面スケールおよび表面傷を取り去っている。水素を含んだチタンおよびチタン合金は表面層の除去だけでは水素を除くことができないので真空焼鈍する必要がある。

チタン合金の鍛造品は米国においては一部使用されつつあるが高強度、高展延性の点で現在のチタン合金には、

まだ充分満足できないこと、製品の諸性質にむらがあつて信頼性の点でまだ不満足であること、その他水素脆性の問題が解決途中であること等で構造用材料として一般に使用される様になるには更に詳細な研究が遂行されなければならない状態にある。

(2) チタンおよびチタン合金の圧延

鍛造の項で述べたことが圧延に対しても適應されるので簡単に記す。また圧延工程は鋼の圧延工場で標準化されたものと多く異なるものではないから記述することは少ない。最近押出し加工によつてチタン合金の大小口径丸棒の生産が工業的に行われているが生産トン数の少ない現状では一つの方法として注目されている。

一般にシート圧延の方が棒材の圧延より困難である。特に合金シートの製造はむずかしく現在 8% Mn を含んだ合金シートのみが工業的に生産され Al, V および Sn を含んだ全  $\alpha$ -Ti 合金シートが試験圧延されつつある。然し 8% Mn を含んだ合金は酸素、窒素および水素汚染に敏感で熔接性もよくない。

工業用純チタンシートの製造工程として採用されている方法は次の通りである。鑄塊は 950°C 前後の温度でプレス鍛造して 100~200mm 厚のスラブとする。

スラブを注意して傷取りした後 800°C~950°C の温度範囲で二段の荒圧延機を用いて 12.5~25mm 厚のシートバーとし再び充分傷取りする。このシートバーを連続熱間圧延機で 5~7 パスして 2.5~3mm に落す。Rem-Cru では可逆熱間ストリップミルで熱間圧延仕上りシートを製造している<sup>19)</sup>。この可逆熱間ストリップミルにはその両側に pinch roll と drum type up-coilers がガス加熱のボックス型の炉中に納められている。加熱は 650°C~1150°C の範囲が可能となつている。ロールの両側で厳密な温度管理下に加熱すればチタンの強加工は容易に実施できる。Fig. 50 にチタンおよびチタン合

金の圧延に用いられる可逆熱間ストリップミルの説明図を示した。Rem=Cru では可逆熱間ストリップミルで仕上げたシートを四段コールドミルで冷間圧延するが若し 0.015" to 0.025" (0.381mm to 0.635mm) 厚みで広巾シートを製造する場合には直径 25mm の working roll を持つ Sendzimir mill を用いて圧延する。

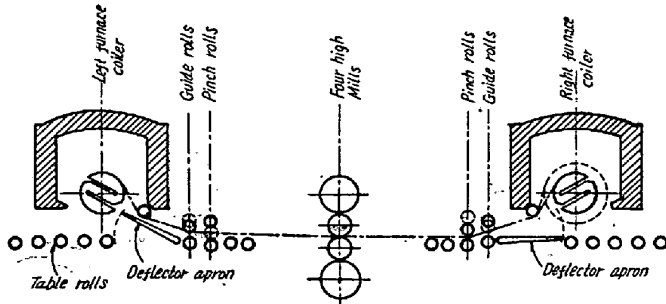


Fig. 50. Schematic view of four-high reversing hot strip mill (A. F. Kenyon)

工業用純チタンシートの加工度と強度との関係は Fig. 51 および Fig. 52 に示す通りである。高純度チタン (KS-50) は 80% 冷間圧延してもエッジクラックを生じない。然しこの程度の加工によつても抗張力 90 kg/mm<sup>2</sup> 以上のシートを得ることができない。これに対して通常の工業用純チタン (KS-70) は加工性は劣るが、100 kg/mm<sup>2</sup> 程度まで強化できる。

(3) 押し出し加工

950°C ~ 1050°C でチタンおよびチタン合金は容易に押し出し加工することができる。billet section に対して 16-28 TSi (25.2 kg/mm<sup>2</sup> ~ 44.1 kg/mm<sup>2</sup>) の押し出圧力があればよいが普通鋼、ステンレス鋼およびコバルは 1190°C の高温でもこれ以上の押し出圧力を必要とする。押し出し加工の特長としては

- (i) Al の約 10 倍の押し出し速度、即ち 7.5m/sec で押し出すことによつてチタンとダイスおよびコンテナーとの反応を最小にする。
  - (ii) 特殊なダイス材料を用いる。(カーバイド等がよい)
  - (iii) 適当な潤滑剤を使用すること
- の3点があげられる。最も大切なことは潤滑剤の選択であるが現在有効な潤滑剤と考えられているものはガラス質のもの、Mo S<sub>2</sub> の混合物、塩化バリウムと食塩との混合物および Cu-Cup 等である。

(4) チタン管およびチタン線

現在米国において市販されているチタン管は工業用純チタン管のみでこれには押し出し後冷間引抜加工によつて生産する肉厚管とストリップシートをヨーダーミルで管

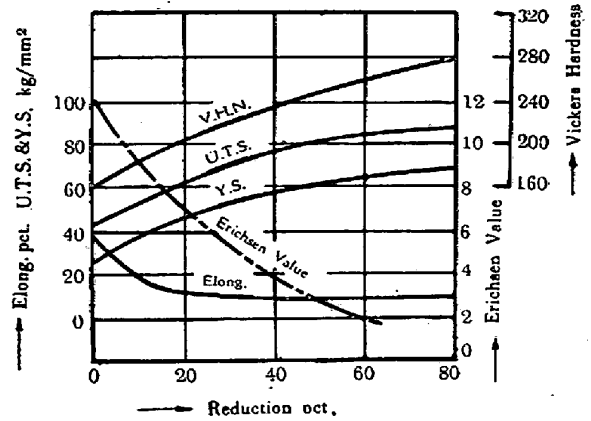


Fig. 51. Cold rolled characteristics of commercially super pure titanium sheet (KS-50)

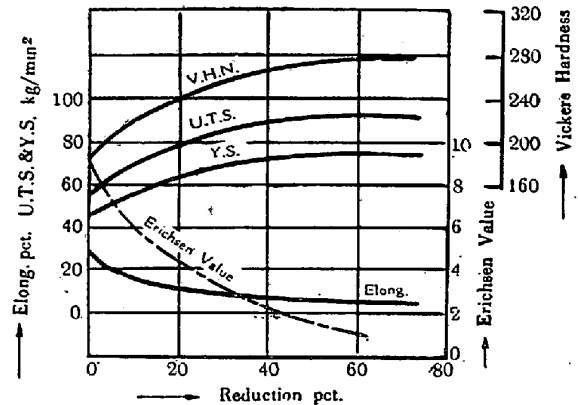


Fig. 52. Cold rolled characteristics of commercially pure titanium sheet (KS-70).

形に閉ちヘリアークで熔接管を作りこれを冷間引抜と真空焼鈍を繰り返しつつ製品とした肉薄管との2種類がある。後者は“Weldrawn tube”と呼ばれ品質もよい。Superior Tube Co. が主生産者である。

合金管の冷間引抜は現在においてもなお解決していないが押し出し合金管は生産可能となっている。

チタンの伸線はダイスを損傷しない様な潤滑剤を適当に選択することによつて工業的に生産されている。表面酸化被膜もよい潤滑剤であるが更にこの上に銅メッキしたものを伸線する方法が実際に利用されている。

MoS<sub>2</sub> を潤滑剤に用いることもよい方法である。

線の加工強度曲線は Fig. 53 に示した。その傾向はチタンシートの場合と同様である。チタン線の捻回値は加工によつて僅かに低下する程度である。

チタン合金の冷間圧延および伸線は一般に困難であるから工業的に生産されているものは少ない。KS-130A の冷間伸線強度曲線を示すと Fig. 54 の通りである。

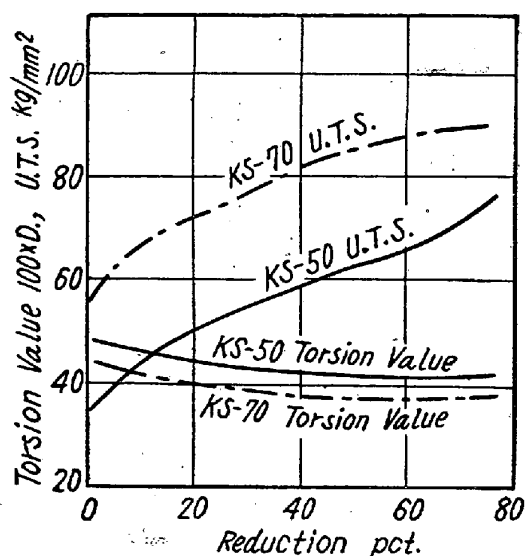


Fig. 53. Cold drawn characteristics of commercially pure and high ductility titanium wire (KS-50 and KS-70)

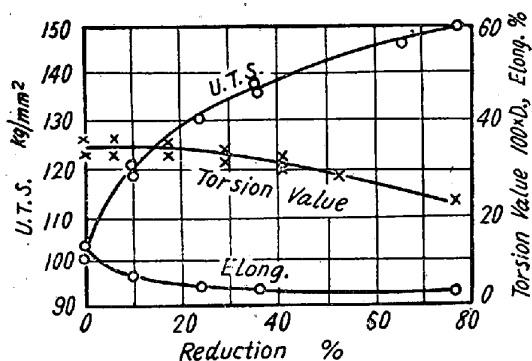


Fig. 54. Cold drawn characteristics of titanium alloy wire (KS-130A)

耐蝕性がよく軽く抗張力は  $150 \text{ kg/mm}^2$  以上でしかも捻回値が 20 以上あるチタン合金線の出現は硬鋼線工業に大きな希望を与えるものである。合金線の時効割れその他各種の現象に対する研究は夫々の合金線に対して実施されつつある。

(5) チタンおよびチタン合金の機械加工

切削工具は磨耗のためその先端がなまされるが高速度鋼工具は  $500^\circ\text{C} \sim 600^\circ\text{C}$  以上の温度に達するとその硬度が急激に低下する。カーバイト工具は  $700^\circ\text{C} \sim 750^\circ\text{C}$  に達してもなお効果的である。チタンおよびチタン合金を機械加工する場合切削速度は上記温度限界以下に保たねばならないことは当然である。

多くのカーバイト工具や高速度鋼工具で各種のクーラントを用いて旋盤による切削試験が実施されたがその結果特によいものは現在まだ得られていない。

工業用純チタンは高速度鋼工具により  $150 \sim 170 \text{ fpm}$

で切削でき鑄造合金工具により  $170 \sim 200 \text{ fpm}$ . カーバイト工具により  $300 \sim 320 \text{ fpm}$  で切削できる。

ブリネル硬度  $275 \sim 350$  のチタン合金では高速度鋼を用いれば  $30 \sim 60 \text{ fpm}$  鑄造合金では  $50 \sim 80 \text{ fpm}$  カーバイト工具では  $120 \sim 160 \text{ fpm}$  で切削できる。切削の時の切り込みは高速度鋼では  $0.004 \sim 0.007 \text{ ipr}$  鑄造合金では  $0.005 \sim 0.010 \text{ ipr}$  カーバイトでは  $0.008 \sim 0.015 \text{ ipr}$  とする。

切削速度をステンレス鋼と比較すればチタンは同一硬度のステンレス鋼の約半分である。この場合工具の寿命は同一程度である。

XV. 熔接性, 耐蝕性, スケール除去法  
および各種強度換算図表

チタンの熔接は真空容器中に不活性ガスを導入してアーク熔接するのが材質を損することがないので最もよい方法であるが工業的にはヘリアーク熔接を行う。その他シーム熔接, スポット熔接等も可能である。

チタン合金の熔接に関する研究はまだ見るべきものがないが  $5\text{Al}-2.5\text{Sn}-\text{Ti}$  合金および  $6\text{Al}-4\text{V}-\text{Ti}$  合金は熔接が純チタンと同様に可能なので開発されつつある。熔着棒には高純度チタンである KS-50 の線が純チタンにもチタン合金にもよい。

チタンの耐蝕性は一般に良好である。Table 19 および 20 および Fig. 55~Fig. 62 に耐蝕性試験結果を集録した。1)19)20)。

- (i) ステンレス鋼の様に点蝕されることがない。
- (ii) 酸化剤 (例えば硝酸, クロム酸等) が少量腐蝕液中に存在すると著しく耐蝕性がよい。
- (iii) アルミニウムを除く塩化物に対して耐蝕性がよい。
- (iv) Stress-Corrosion がない。
- (v) 海水に対しては白金と同程度の耐蝕性を示す。等々で化学装置, 船舶用材料としてその将来が約束されている。

大気中で加熱した場合に発生するチタンスケールを除去するにはソルトバス処理が有効である。この場合水素の汚染を特に注意しなければならない。ソルトとしては 90% の苛性ソーダと残余は炭酸ソーダ 食塩その他の混合物から成るものがよく  $400^\circ\text{C}$  で 10 分間浸漬すれば大抵は除去される。次で  $20\% \text{ HNO}_3 + 2\% \text{ HF}$  の混酸中に数分間浸漬すれば梨地肌仕上る<sup>21)</sup>。薄い表面スケールに対しては硝酸混酸処理のみで充分である。上記混酸処理によれば水素脆性は防ぐことができる。

Table 19. Corrosion resistance of commercially pure titanium (Rem-Cru)

Etching reagent	Concentration (wt%)	Temperature (°C)	Corrosion rate
Acetic acid	5, 25, 50, 75, 99.5	boil	A
Acetic anhydride	99	room temp.	A
HNO <sub>3</sub>	10, 20, 30, 40, 60, 70	100	A, B
"	50	100	A
"	65	boil	A
HNO <sub>3</sub> red fuming	—	room temp.	A
HNO <sub>3</sub> white fuming	98	"	A
"	95	70	A
HCl	1	70	A
"	1	boil	C
"	3, 5	room temp.	A
"	3, 5	70	B
"	3, 5	boil	C
"	10	room temp.	B
"	10	70	C
HCl (200 mg Cu <sup>++</sup> /l)	20, 37	room temp.	C
HCl+HNO <sub>3</sub>	37	room temp.	A
"	1 : 8	room temp.	A
"	2 : 1	"	A
"	3 : 1	"	A
"	4 : 1	"	A
"	5 : 1	"	B
"	7 : 1	"	A
"	20 : 1	"	A
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	5	35	A
"	10	"	B
"	20~50	"	C
"	60~70	"	B
"	>70	"	C
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> +HNO <sub>3</sub>	10 : 90	"	A
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> +HNO <sub>3</sub>	30 : 70	"	A
"	50 : 50	"	A
"	60 : 40	"	A
"	70 : 30	"	B
"	80 : 20	"	B
"	90 : 10	"	B
"	99 : 1	"	B
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	5, 10, 20, 30	"	A
"	35~85	"	B
"	5~35	60	B
"	5	100	B
"	10	80	C
Oxalic acid (aerated)	0.5, 5, 10	35	A
"	0.5, 1, 5, 10, 25	60	C
HF	1	room temp.	C
" (anhydride)	100	"	B
Hydrogen peroxide	3, 6, 30	room temp.	A
H <sub>2</sub> S (Saturated water)	—	70	A
Cl <sub>2</sub> (saturated water)	—	room temp.	A
Chlorine gas (dry 0.005% water)	—	30	C
" (wet, more than 0.013% water)	—	75	A
Tartaric acid	10, 25, 50	100	A
Lactic acid (aerated)	10, 25, 50, 85	100	A
" (nonaerated)	10, 25, 50, 85, 100	boil	A
K <sub>2</sub> CrO <sub>4</sub>	10	boil	A
"	36, 5	90	A
Citric acid (aerated)	10, 25, 50	100	A
" (non aerated)	50	boil	B
Formic acid (aerated)	10	boil	A
" (non aerated)	25, 50, 90	boil	C
Tannic acid	25	100	A
Stearic acid	100	180	A
Chloro-acetic acid	30	80	A
Dichloro-acetic Acid	100	boil	A
Trichloro-acetic acid	100	100	C
Sulfur, molten	100	240	A
Sulfur, water suspended	—	room temp.	A

SO <sub>2</sub> (saturated water)	—	room temp.	A
//	—	70	A
NH <sub>4</sub> OH (anhydrous 200 psi)	100	40	A
KOH	10	boil	A
NaOH	40	boil	A
NH <sub>4</sub> OH	28	room temp.	A
AlCl <sub>3</sub>	5, 10	100	A
//	25	60	A
//	25	100	C
NH <sub>4</sub> Cl	1, 10, saturate	100	A
BaCl <sub>2</sub>	5, 20	100	A
CaCl <sub>2</sub>	5, 10, 25, 28	100	A
Ca (ClO) <sub>2</sub>	2, 6	100	A
CuCl <sub>2</sub>	1, 20	100	A
//	40	boil	A
FeCl <sub>3</sub>	1~30	100	A
//	10	boil	A
FeCl <sub>2</sub> +10% NaCl	5	100	A
MgCl <sub>2</sub>	5, 20, 42	boil	A
MnCl <sub>2</sub>	5, 20	100	A
HGCl <sub>2</sub>	1, 5, 10, saturate	100	A
NiCl <sub>2</sub>	5, 10	100	A
NaCl	20, saturate	boil	A
SnCl <sub>3</sub>	5, 24	100	A
NaS	10	boil	A
NaClO (5.6% Cl <sub>2</sub> )	—	room temp.	A
ZnCl <sub>2</sub>	5, 10, 20	boil	A
Dichloroethylene	100	boil	A
Trichloroethylene	water mixture	boil	A
//	//	//	A
Tetrachloroethylene	//	boil	A
Tetrachloro ethylene	—	boil	A
Carbon tetrachloride	—	boil	A
(with 1% water)	—	boil	A
Aniline hydroxide	5, 20	100	A
Form aldehyde	37	boil	A
Chloroform water mixture	—	boil	A

- Note: 1. Solutions were not aerated with air unless otherwise indicated.  
 2. The designations employed are those used by the corrosion handbook. A rating of "A" means corrosion of not more than 5mpy. Class B implies rates between 5 and 50mpy. A "B" rating may be satisfactory for non-critical parts where some corrosion can be tolerated. Class "C" indicates a corrosion rate above 50. mpy.

Table 20. Corrosion resistance of Kobe Steel Works' titanium.

Etching reagent	Concentration (wt%)	Temperature (°C)	Corrosion resistance	
			KS-50	KS-70
HNO <sub>3</sub>	5, 7, 37, 64, 99	20	○	○
//	5, 7	boil	○	○
//	37, 64	boil	▲	▲
HCl	0.5, 1, 3, 5, 10	20	○	○
//	20	20	▲	▲
//	30, 35	20	×	×
//	0.5, 1	boil	○	○
//	3, 5, 10, 20	boil	×	×
35% HCl+HNO <sub>3</sub>	0.5, 3, 5	20	○	○
Aqua regia		20	○	○
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	1, 5, 10, 20	20	○	○
//	40, 60	20	▲	▲
//	80	20	×	×
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	95, 6	20	▲	▲
//	5, 10	boil	×	×
8% H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> +HNO <sub>3</sub>	0.1, 0.5	20	○	○
//	3, 5	20	○	○
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	10, 30, 50	20	○	○
//	30	boil	×	×

Acetic acid	100	20	○	○
Formic acid	100	boil	○	○
Lactic acid	50	20	○	○
Oxalic acid	50	boil	○	○
NaOH	10	20	○	○
CuSO <sub>4</sub>	10	boil	○	○
CuSO <sub>4</sub>	10	20	○	○
Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	10	boil	○	○
Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub>	10	boil	○	○
NH <sub>4</sub> Cl	10	20	○	○
ZnCl <sub>2</sub>	2*05	boil	○	○
CaCl <sub>2</sub>	2*05	20	○	○
NaCl	10	boil	○	○
Sea water	20	20	○	○
FeCl <sub>3</sub>	—	boil	○	○
Cl <sub>2</sub>	50	20	○	○
Cl <sub>2</sub>	dry*	20	○	○
Cl <sub>2</sub>	wet	20	○	○
Cl <sub>2</sub>	dry*	100	○	○
Cl <sub>2</sub>	wet	100	○	○
K <sub>2</sub> CrO <sub>4</sub>	10	20	○	○
K <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	10	20	○	○
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	10	20	○	○
Monochloro acetic acid	Saturate	30	○	○

Note: ○ Corrosion rate < 0.1 gr/m<sup>2</sup>/h.  
 ▲ Corrosion rate is between 0.1~1.0 gr/m<sup>2</sup>/h.  
 × Corrosion rate > 1.0 gr/m<sup>2</sup>/h.  
 \* Contains a little moisture.

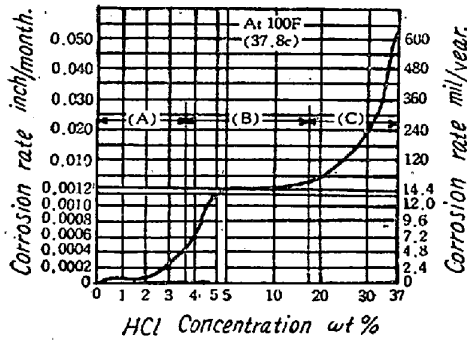


Fig. 55. Corrosion resistance to HCl (38°C)

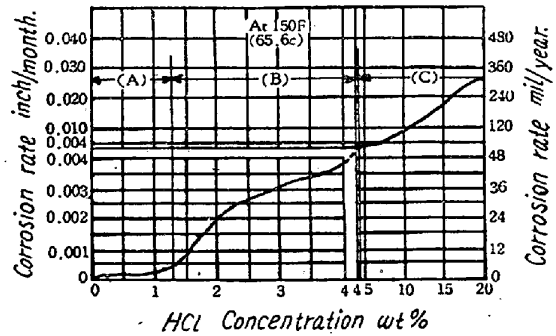


Fig. 56. Corrosion resistance to HCl (66°C)

工業用純チタンおよびチタン合金を用いて得られたブリネル、ショアー、ヴィッカーズ硬度換算図表と各種加工材の硬度—抗張力関係曲線を Fig. 63~66 にかかげた。

なお硬度の換算図表は鋳造材にも適用できる。

### XVI. 結 言

チタン工業は終戦後に始まったにも拘らずチタン資源の豊富なこととチタンの構造用材料としての性質が優れ

ていることのために急速に発展した。我国においては特に砂鉄資源中にチタン源を求めることができるため国家的見地からチタン工業が育成されつつあり、最近ではそれが一部実を結び広く欧米諸外国から我国のスポンジチタンの製造技術が称賛されつつあることは喜ばしい。

チタンおよびチタン合金の熔解加工は米国においても我国においても目下工業化の段階であつて特にチタン合金の実用化は先進国である米国においても今まで経験しなかつた構造用材料であるだけに種々問題がおこつて足

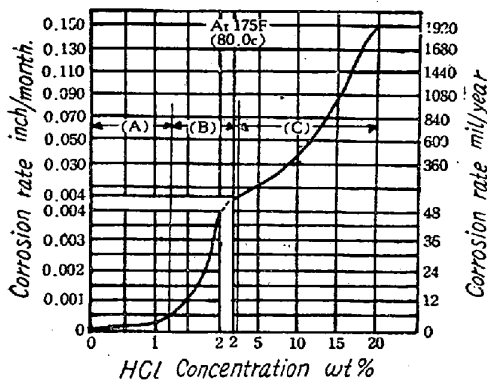


Fig. 57. Corrosion resistance to HCl (80°C)

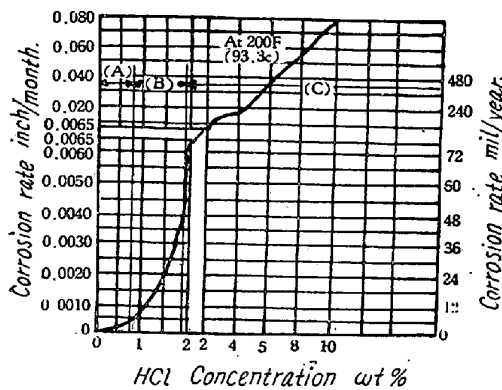


Fig. 58. Corrosion resistance to HCl (93°C)

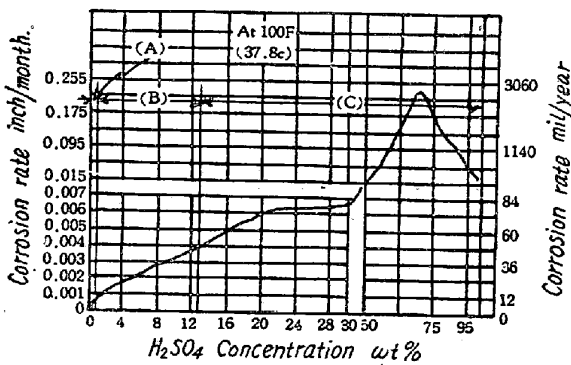


Fig. 59. Corrosion resistance to H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (38°C)

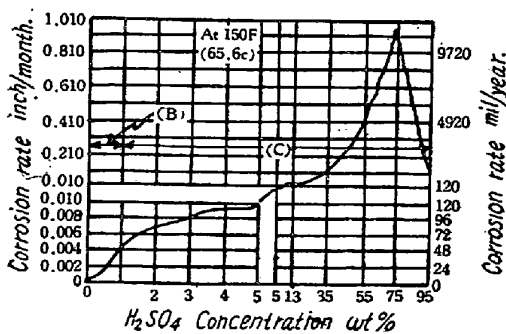


Fig. 60. Corrosion resistance to H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (65°C)

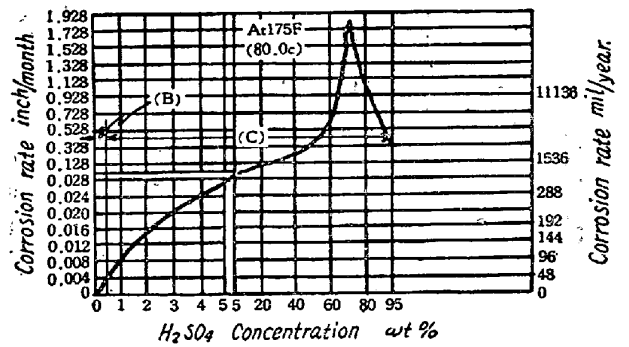


Fig. 61. Corrosion resistance to H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (80°C)

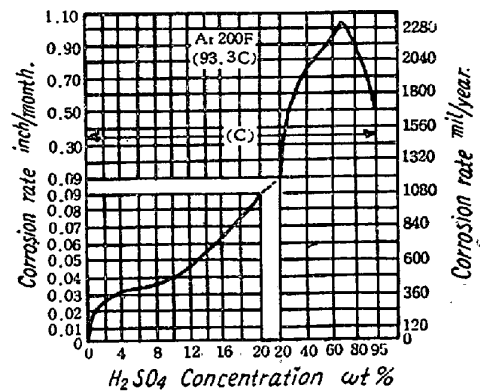


Fig. 62. Corrosion resistance to H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (93°C)

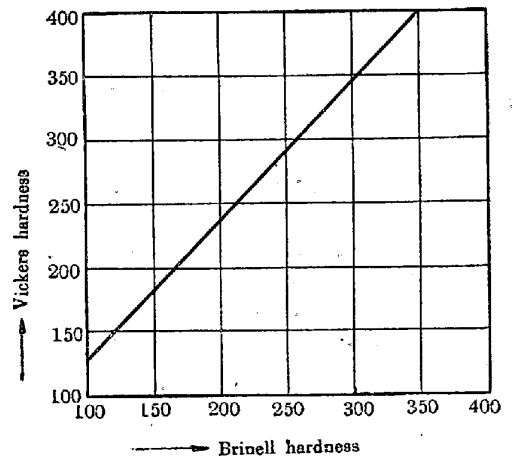


Fig. 63. Hardness conversion curve between Vickers and Brinell.

ぶみ状態にあるらしい。本稿において特に各種のチタン合金の金相学的諸性質について論及する必要があつたのはこのためである。然し一部の問題は既に解決され新合金の開発研究も進め大量生産化の曙光が認められてきているから遠からず安定した構造用材料としての需要が拡大するであろう。

純チタンについては使用範囲はせまいけれども金相学的に問題は少く構造用材料として安定した用途を既に持



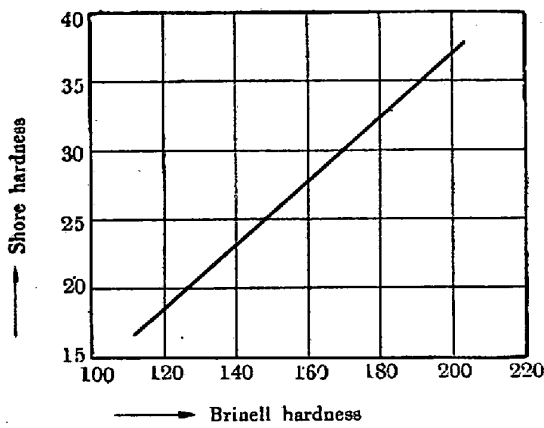


Fig. 64. Hardness conversion curve between shore and brinell.

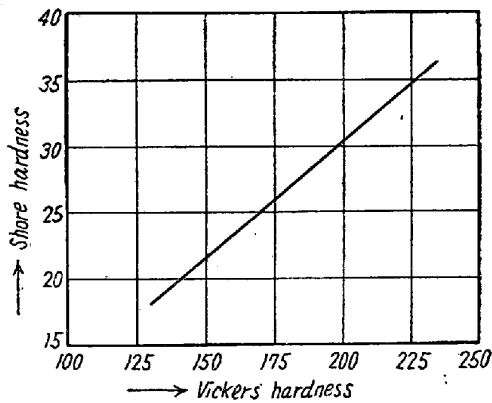


Fig. 65. Hardness conversion curve between Shore and Vickers.

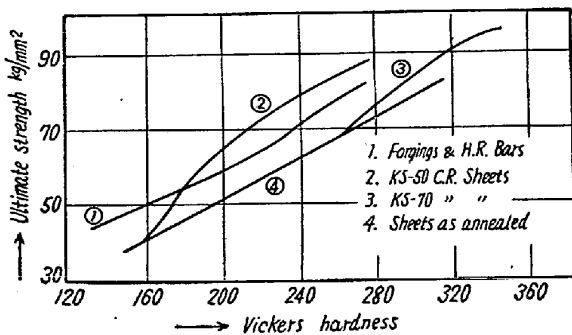


Fig. 66. Relative curve between ultimate tensile strength and hardness.

つている。米国の商業機にも既に実用化されている程であるからこれを実際に御覧になつた諸賢も多いことと思う。

発展途上にあるチタン工業をみるとアルミニウム工業の発展経過とよく似ている。たゞ実質的には砂鉄の精錬を始めとして溶解、鍛造、圧延等諸加工設備は鉄鋼用の強力かつ量産方式の設備乃至はそれ以上に強力な諸設備を要求する関係上本稿中に述べた様に現在では非鉄金属であるにも拘らず鉄鋼工場の諸設備の流用されるものが多い。

要するにチタン工業は出発点は砂鉄であるからチタンの粗原料の製造過程は製鉄技術の応用である。途中のスポンジチタンの製造過程は鉄鋼技術と縁遠いけれども鑄塊後最終製品に至るまでの加工技術はこれまた鉄鋼技術の応用であるといえる。従つて本誌に技術資料としてチタンの精錬と加工を特に取りあげられた意義は更に深いものがあると思う。たゞ筆者が浅学非才にしてよくその責を果し得なかつたことを深く恥じ入る次第である。

文 献

- 15) Heinrich K. Adenstedt. WADC Tech. Report 54-305 Part I (1954) I-3-1
- 16) Air force machinability report I, Light Metal Age 12 (1954) No. 6
- 17) Air force machinability report II, Light Metal Age 12 (1954) No. 8, 14
- 18) A. F. Kenyon, Iron and Steel Engineer 30 (1953) No. 6, 62
- 19) H. Kusamichi et al. Light Metals by Japan Institute of Light Metals No. 17 (1955)
- 20) G. C. Kiefer, Iron Age, Dec, 4, (1952) 170
- 21) H. B. Bomberger M. B. Vardahl and W. L. Finlay, Materials and Methods 40 (1954) No. 6, 105