熔接した工業用純チタンと実用耐食合金の 耐食性の比較*

安藤 良夫** 藤村 理人** 飛田 正蔵**

Comparison of Corrosion Resistance of Welded Commercial Pure Titanium and Practical Corrosion Resisting Alloys*

By Y. Ando**, T. Fujimura** and M. Tobita**

Abstract

For many applications, titanium may be used because of its excellent corrosion resistance rather than its good mechanical properties.

We therefore investigated the corrosion resistance of the welded commercial pure titanium in sea water compared with those of the welded practical corrosion resisting alloys (corrosion resisting aluminium alloy, 18-8 stainless steel and mild steel). Additionally, we tested the welds of these alloys in alkali and acid.

We used two kinds of corrosion test; extents of corrosion were determined with weight loss or increase of the electrical resistance respectively.

The results of these tests showed that the commercial pure titanium was the most excellent among the tested materials, but the heat affected zone was inferior to the parent metal and the weld.

1 ま え が き

チタンはアルミニウム、マグネシウムに次ぐ実用軽金属として最近脚光を浴びるようになった。それにともない、チタンの熔接は多くの研究者によって研究され、現在では一応、イナートガス・シールド・アーク熔接法によって、熔接条件は確立されたとみることができる。

著者等はチタンが海水を周囲環境として利用される場合、チタンの有する強度/重量における優れた特性よりも、むしろ、白金に匹敵するといわれる耐海水性に注目されることが大きいと考え、熔接したチタンの耐海水性を他の実用耐食合金の熔接部の耐海水性と比較検討してみた。なお、一部参考のために、耐酸性および耐アルカリ性についても実験を行なった。

2 供 試 材 料

実験に使用した材料は工業用純チタン、耐食アルミニウム合金 NP 5/6 (防衛庁規格 ANP)、18-8ステンレス鋼および軟鋼の4種類である。板厚はいずれも2mmでこれらの材料の化学成分をTable 1に示す。

3 熔 接 条 件

熔接はTig法により行なったが、各材料の熔接条件は

* 原稿受付 昭和32年12月25日 (昭和33年度熔接学会春季学術講演会において発表)

** 正員、東京大学生産技術研究所 Member, Institute of Industrial Science, Tokyo University.

Table 1 Chemical Composition of Specimens
(a) Commercial pure titanium

Element	C	Fe	N ₂	Si	Ti
Weight (%)	0.024	0.054	0.022	0.05	Rest

(b) Corrosion resisting aluminium alloy

Element	Cu	Mg	Mn	Si	Fe	Cr	Al
Weight (%)	0.024	4.2	~	0.09	0.14	0.10	rest

(c) 18-8 stainless steel

Element	Cr	Ni	C	Fe
Weight (%)	18.0	8.23	0.10	rest

(d) Mild steel

Element	C	Si	Mn	P	S	Fe
Weight (%)	0.08	0.06	0.28	0.015	0.35	rest

Table 2 に示す通りである。

4 腐 食 試 験 方 法

(a) 秤量による腐食量の測定

熔接した各材料を機械切削により余盛りを削除して、平滑な面とし、Fig. 1 に示すように、熔接中心から距離を変えて、50×10×20 mm の試験片を採取した。

腐食液は海水、10%塩酸溶液および1%苛性ソーダ溶液

Table 2 Welding Condition of Test Panel

	Comme- rcial pu- re titani- um	Corrosion resis-t. aluminium alloy	18-8 stainless steel	Mild steel
Current (A)	120	100	110	120
Arc voltage (V)	25(d.c.)	20(d.c.)	23(d.c.)	25(d.c.)
Welding speed (mm/min)	160~140	220~200	240~220	220~200
Shield gas	Ar	Ar	Ar	Ar
Flow rate of sh- ield gas (l/min)	8	8	6	6
Preparation	I	I	I	I
Root opening	0	0	0	0
Backing	used copper bar			
Filler metal	same with parent metal

Fig. 1 Location of specimens
(chemical balance method)

の3種類を選び、いずれも 10/ ずつ作製して、腐食液の交換による濃度変化を防ぐようにした。試験に際しては、腐食液を 300 c.c. のビーカーに満し、試験片を Fig. 2 に示すようなガラス製の架台にのせて腐食液に浸漬した。試験温度は室温とし、腐食の程度に応じて測定時間間隔を定めて、腐食液より試験片を取出して秤量した。秤量に当っては、試験片をよく水洗し、腐食生成物は軽くガーゼで拭きとり（固着した腐食生成物はそのまま）、次に乾燥器に入れ、100°C で 30 分間放置し、附着した水分を完全に蒸発せしめた後、化学天秤により、腐食減量を秤量した。腐食液は測定ごとに新しい溶液と交換して、濃度をほぼ一定に保つことに留意した。

Fig. 3 Location of specimens
(electric method)

(b) 電気抵抗の変化による腐食度の測定

秤量による腐食量の測定に平行して、腐食度を多元的に観察するため、電気抵抗の変化により腐食度を求めた。試験片は Fig. 3 に示すように、溶接ビードに平行に採取し、No. 1 はビード中より、No. 2, 3 は熱影響部より、No. 4, 5 は母材より採取した。試験片の寸法は工業用純チタンは電気抵抗が大きいいため、140×10×2 mm、その他の材料は180×5×2mm とした。

Fig. 4 Measuring circuit of
electrical resistance method

腐食液は海水を使用し、Fig. 4 に示すような回路によって腐食による電気抵抗の変化を計測した。

5 試験結果とその考察

(a) 秤量による腐食量の測定について

各試験片はその表面積に多少の差違があったので、比腐食減量 (mg/cm²) = 腐食減量/試験片の表面積、を求めて実験結果を検討した。Fig. 5 は各材料の海水による腐食試験の結果を示す。Fig. 5 (a) は工業用純チタンの腐食試験の結果で、熱影響部は相当耐食性の劣化がみられる

a. Commercial pure titanium

Fig. 5 Results of corrosion test (in sea water)
by means of chemical balance method

が、他の材料に比較すればはるかに優れている。なお、チタンは海水による腐食に際して、表面に薄い緻密な腐食生成物（水酸化物と考えられる）が均一に附着して剝離できないため、腐食減量は増量となって秤量された。この腐食生成物により、かえって長期の腐食においては、腐食の進行が阻止されて有利であると考えられる。

Fig. 5 (b) は耐食アルミニウム合金の腐食試験結果で

b. Corrosion resisting aluminum

Fig. 5 Results of corrosion test (in sea water) by means of chemical balance method

あるが、工業用純チタンの場合と同様、腐食減量は増量となって観察され、熱影響部の腐食は溶着部および母材よりも大きい。また熱伝導が良好なため、熱影響部は相当外側まで拡張されているようである。耐食アルミニウム合金の腐食は工業用純チタンのそれと異なり、腐食曲線が凸であるのに、腐食生成物が初期においては薄い白色の皮膜であるが、次第に腐食度が進行すると、羽毛状の腐食生成物となり、表面から剝離される。そのため図に示すように凸曲線が得られたものと思われる。

Fig. 5 (c) に18-8ステンレス鋼の腐食試験の結果を示す。工業用純チタンおよび耐食アルミニウム合金の場合と同様、熱影響部の耐食性は劣るが、腐食の進行度は長期の腐食では、いちじるしく減少することが観察された。

Fig. 5 (d) は軟鋼の腐食試験の結果であるが、耐食性は前述の3材料に比べると、いちじるしく不良であった。

これらの材料について耐食性を相対的に比較することは、おのおのその腐食の性質および比重が異なるため、画一的に論ずることは困難であるが、仮りに1日当りの腐食量を求め、それを比重で割った値を求めて Table 3 に示

c. 18-8 stainless steel

Fig. 5 Results of corrosion test (in sea water) by means of chemical balance method

d. Mild steel

Fig. 5 Results of corrosion test (in sea water) by means of chemical balance method

す。これによっても工業用純チタンの耐食性が良好であることが明らかである。

Fig. 6 は工業用純チタン、18-8ステンレス鋼および軟鋼のアルカリ（1%苛性ソーダ溶液）による腐食試験の結果を示す。耐食アルミニウム合金はアルカリに対する耐食

Table 3 Comparison of Results of Corrosion Test by Means of Chemical Balance Method (in sea water)

Distance from depo. (mm)	0	12.5	25	37.5	50	62.5	75	87.5	Parent metal
Commercial pure titanium	⊖ .01	⊖ .01	⊖ .03	⊖ .02	⊖ .01	—	—	—	⊖ .01
Corr. resist. aluminium alloy	⊖ .09	⊖ .07	.02	.03	⊖ .02	⊖ .05	⊖ .06	⊖ .01	.05
18-8 stainless steel	.08	.18	.25	.08	.12	.15	.19	—	.14
Mild steel	.95	.91	.63	.86	.91	—	—	—	1.3

unit : mg/cm²/day/sp, gr × 100

⊖ : increment in weight loss.

性はきわめて不良で、同図に書き入れることができないので除外した。この場合も、工業用純チタンの耐食性は良好である。

Fig. 7 は工業用純チタン、18-8ステンレス鋼および耐食アルミニウム合金の酸（10%塩酸溶液）に対する腐食試験の結果を示す。軟鋼は酸に対する耐食性が不良であり、同図に書き入れることができないので除外した。工業用純チタンは酸に対しても、きわめて優れた耐食性を示している。

(b) 電気抵抗による腐食量の測定について

Fig. 8 に電気抵抗の測定される海水に対する腐食試験の結果を示す。おのおのの材料はその腐食の性状が異なり、工業用純チタンは均一な腐食生成物を表面に生ずるが、他の材料では局部的に腐食が進行することがあり、そのため、電気抵抗の変化による腐食量の測定では腐食の絶対量を測定することは困難であったが、一般的傾向を知ることができた。また、熔着部、熱影響部および母材につい

て腐食度の大きな差は認められなかった。本試験の結果においても、工業用純チタンの耐食性が他の材料よりいじむしく優れており、次いで18-8ステンレス鋼、耐食ア

a. Commercial pure titanium
Fig. 6 Results of corrosion test in 1% NaOH soln.

b. Corrosion resist. Al alloy
Fig. 7 Results of corrosion test in 10% HCl soln.

Fig. 8 Results of corrosion test (in sea water) by means of electrical resistance method

ルミニウム合金、軟鋼の順であることがわかった。これらの測定結果は秤量によって得られた実験結果とほぼ一致している。

6 む す び

工業用純チタンは耐海水性ばかりでなく、耐アルカリ性および耐酸性もきわめて良好である。このことは前記の実用耐食合金に一長一短があるのと比べて、チタンが優れた耐食材料であることを示すものである。なお、本実験に使用した18-8ステンレス鋼は炭素の含有量が高いため、腐食試験の結果は余りよくないが、低炭素の18-8ステンレス鋼では、耐食性はさらに良好な結果を得られたものと考えら

れる。

一般にいて、熱影響部の耐食性は溶着部および母材のそれより、いずれの材料においても不良であり、今後、熱影響部の耐食性を改良することが必要であると思われる。

おわりに、本研究に使用した工業用純チタンはチタニウム懇話会より、18-8ステンレス鋼は日本鋳業株式会社川崎工場より提供されたものであり、また、溶接については電元社製作所の御好意を得たが、ここに厚く感謝の意を表する次第である。

第2回 材料試験連合講演会プログラム

共 催 日本学術会議材料試験研究連絡委員会
金属表面技術協会、高分子学会、造船協会、
土木学会、日本鋳物協会、日本化学会、日本
機械学会、日本金属学会、日本建築学会、日
本航空学会、日本材料試験協会、日本セメン
ト技術協会、日本鉄鋼協会、日本非破壊検査協
会、日本木材学会、溶接学会

幹事学会 日本材料試験協会、日本非破壊検査協会、溶
接学会

と き 昭和33年10月14日（火）15日（水）

と ころ 京都大学工学部共同講義室
第1会場は第1講義室
第2会場は第2講義室
第3会場は第3講義室
（京都市左京区吉田本町 市電 東山線東一条
下車東入る）

講演部門 第1部 金属材料
第2部 非金属材料（有機物、無機物）
第3部 一 般（材料試験器その他）

日 程

第1日	10月14日（火）		
	第1会場	第2会場	第3会場
9.0~11.50	I(1~7)	II(1~7)	III(7~1)
12.40~13.40	特別講演	第1会場に合流	
13.45~15.05	I(8~11)	II(8~11)	III(8~11)
15.10~17.30	I(12~18)	II(12~18)	III(12~18)
17.40~	懇親会第		
第2日	10月15日（水）		
	第1会場	第2会場	第3会場
9.30~11.50	I(19~25)	II(19~25)	III(19~20) I(41~45)
12.45~15.05	I(26~32)	II(26~32)	I(46~52)
15.10~17.50	I(33~40)	II(33~40)	I(53~60)

特 別 講 演

とき・ところ 10月14日（火）12.40~13.40第1会場
挨 拶 日本学術会議材料試験研究連絡委員会委員長
工学博士 西原利夫君

講 演（演題未定）

株式会社神戸製鋼所 社長 浅田長平君

講 演 前 電 予 約

講演テキストとして次のとおり実費で予約頒布いたします。

オフセット印刷のため印刷部数に限定がありますので締切期日までに代金を添えて日本材料試験協会（京都市左京区吉田本町京都大学工学研究所内）に着信するようお願いし込みください。前刷は取り扱いやすいよう3冊に分けてあります。

種 別	第Ⅰ部	第Ⅱ部	第Ⅲ部
内 容	金属材料	非金属材料	一 般
掲載演題	60題	40題	20題
頒 価	400円	300円	150円

予約申し込み期日 9月末日着信分まで（3冊合計850円送料共）

懇 親 会

ビールを飲みながら気楽に放談し、参加者の親睦をはかるよう、ビヤパーティを催します。大勢の御参加を希望します。

とき・ところ 10月14日（火）17時40分より
京都大学工学部

会 費 400円（ビール、軽食）

申込方法 会費を添えて下記宛、9月末日迄に御申込下さい。第2回材料試験連合講演会世話係（京都市左京区吉田本町 京都大学工学研究所内 日本材料試験協会）

なお、御申込取消の場合は準備の都合上10月10日迄の御申出に限り後日会費の御返金をいたします。