

© 1986 ISIJ

耐食チタン合金 ASTM Grade 12 の製造と
諸特性

技術報告

津森芳勝*・成田憲二*・児山佑二*・上窪文生*²Processing of ASTM Grade 12 Titanium Alloy and Its
Mechanical and Corrosion-Resistant Properties

Yoshikatsu TSUMORI, Kenji NARITA, Yuji KOYAMA and Fumio KAMIKUBO

Synopsis :

A 5 t ingot of ASTM G12 titanium alloy (Ti-0.8Ni-0.3Mo) was melted, and the plates, sheets, coils, bars and thin-wall seam-welded tubes were manufactured. The processability of G12 alloy has proved almost similar to that of commercially pure titanium grades. It has been clarified that G12 alloy had several advantages in the mechanical property compared with titanium alloys G7 and G3; (1) higher strength at elevated temperatures which leads to higher maximum allowable stress in materials design, (2) larger Young's Modulus and (3) higher fatigue strength. The crevice corrosion tests for G12 alloy as well as G7 and G2 alloys have revealed that G12 alloy was quite superior to G2 and was close to G7 in the resistance to crevice corrosion in hot chloride solutions. It can be expected that the industrial application of G12 alloy will increase owing to its attractive characteristics.

1. 結 言

これまで、耐すきま腐食用チタン材料としては ASTM Grade 7 (Ti-0.15Pd 合金、以下 G7 と略記する)、あるいは PdO/TiO₂ コーティング材 (基材は純チタン) 等が採用されてきたが、工業的利用面で多少の制約があるため、これら材料とは異なる新たな耐食材料の出現が待たれていた。ASTM Grade 12¹⁾ チタン合金 (以下 G12 と略記する) は、これに應えるものとして、米国 TIMET 社が開発した 0.8 wt% の Ni と、0.3 wt% の Mo を含む耐食チタン合金である。工業用純チタンと同様の方法で曲げ成形や溶接加工が可能であるとともに、塩化物環境における耐すきま腐食性は G7 にせまる性能を有しているとされている²⁾。

神戸製鋼所では、1984 年 6 月、この合金の基本特許を導入し、国内での独占製造販売権を得たので、自社溶製鋳塊を用いて、板、薄肉溶接管、丸棒および線を製作し、物理的諸特性、曲げ溶接加工性および耐食特性を調査し、評価した。

2. 試 験 方 法

二重真空アーク溶解により、直径 840 mm の 5000 kg 鋳塊を溶製した。鍛造および圧延により、厚さ 150

mm×幅 1100 mm×長さ 6000 mm のスラブとした。このスラブの約 2/3 長さを熱間タンデムミルで厚さ 3 mm×幅 1050 mm のコイルとし、さらに厚さ 0.5 および 0.7 mm×幅 1000 mm のコイルに冷延した。真空焼鈍後、一部をスリットし、外径 25.4 mm に造管した。スラブの残り 1/3 長さは、小型スラブとビレットに切断して、厚さ 30 mm×幅 1000 mm×長さ 2000 mm の厚板と溝ロール圧延機によつて、直径 22~40 φ の丸棒および引き続く冷間引き抜きによつて直径 2.4 mm の線を製作した。おのおのの特性調査の明細と使用した供試材を次に示す。

1) 材料品質評価

厚さ 0.5, 0.7, 3, 30 mm の焼鈍コイルおよび板、直径 22 mm の焼鈍丸棒を供試材として、常温~400°C における引張性質 (常温強度が同じレベルの ASTM Grade 3 (以下 G3 と略記) との比較および高温許容応力の検討)、-196~500°C における 2 mmV ノッチシャルピー衝撃性質、常温曲げ性質、常温~400°C における高サイクル疲労性質、常温~300°C におけるヤング率とポアソン比、β 変態点およびマイクロ組織について調査した。

2) 薄肉溶接管の品質評価

外径 25.4 mm×厚さ 0.5 および 0.7 mm 薄肉溶接管

昭和 60 年 9 月 13 日受付 (Received Sep. 13, 1985)

* (株) 神戸製鋼所チタン本部 (Titanium Metals Division, Kobe Steel, Ltd., 2-3-1 Niihama Arai-cho Takasago 676)

*² (株) 神戸製鋼所材料研究所 (Materials Research Laboratory, Kobe Steel, Ltd.)

Table 1. Chemical compositions of the ingot.

		(%)										
SPEC		Ni	Mo	Fe	C	Si	Mn	Mg	Cl	O	N	H
SPEC		0.6/0.9	0.2/0.4	≤0.30	≤0.08	—	—	—	—	≤0.25	≤0.03	≤0.015
Ingot	Top	0.82	0.30	0.053	—	—	—	—	—	0.155	0.0048	—
	Middle	0.76	0.29	0.047	—	—	—	—	—	0.152	0.0025	—
	Bottom	0.72	0.27	0.047	—	—	—	—	—	0.149	0.0028	—
Slab	Top	0.87	0.28	0.048	0.005	0.008	<0.005	<0.005	<0.005	0.125	0.0019	0.0018
	Middle	0.80	0.29	0.050	0.008	0.008	<0.005	<0.005	<0.005	—	—	—
	Bottom	0.80	0.28	0.044	0.006	0.008	<0.005	<0.005	<0.005	0.127	0.0022	0.0010

を供試材として、ASTM B338¹⁾ に要求されている常温引張性質、押し広げ、扁平、展開試験について、溶接部のマイクロ組織、かたさとともに品質確認した。

3) 曲げ成形性、溶接性の評価

厚さ 3, 30 mm の焼鈍板を供試材として、300 mm 広幅曲げ試験片による常温と 600°C において、曲げ角度 90° における曲げ性の調査、および直径 2.4 mm の線を溶加棒として TIG 手動溶接および MIG 自動溶接で溶接継手をつくり、常温～300°C における引張性質、常温の 2 mmV ノッチシャルピー衝撃性質、曲げ性質、かたさについて調査した。

4) 耐食性の評価 (沸騰塩化物水溶液中におけるすきま腐食試験および Depassivation pH 測定試験)

厚さ 3 mm の焼鈍板を供試材として、浸漬すきま腐食試験片は、金属板試片に PTFE (ポリ四沸化エチレン) 製の複数溝切りスペースを重ねて人工すきまを付与したもの (以下マルチクレビス試験片と記す) を用いた。

また、Depassivation pH 測定試験は、Ti 線をスポット溶接し試料合金板表面のみを露出させて他の部分をふつ素系樹脂で絶縁被覆したものを試料電極として使用し、HCl を微量ずつ添加しながら NaCl 溶液中で自然電位を測定することによって、不動態から活性溶解に移行する限界 pH 値を求めた。これらのデータは耐食用途によく用いられている ASTM Grade 2 (以下 G2 と略記する) および G7 と比較した。

3. 試験結果

3.1 鋳塊の評価

直径 840 mm 鋳塊の外周および厚さ 150 mm スラブの断面内部からそれぞれ頭部 (Top)、中間部 (Middle)、底部 (Bottom) に相当する位置よりサンプリングし、分析した。Table 1 に分析結果を ASTM 規格値とともに示す。合金添加元素である Ni と Mo はいず

Table 2. Tensile properties of forged and then annealed block cut out of slab.

	UTS kgf/mm ²	YS kgf/mm ²	ELONG. %	RA %
ASTM B 381	≥49.2	≥35.2	≥18	—
Top	55.2	45.6	24	45
Bottom	55.2	45.0	24	42

れの位置においても規格範囲の中央値を示すとともに、偏析が認められなかった。耐食性に影響する Fe の上限値は 0.3 wt% であるが、無添加で低くおさえた。

鋳塊の引張性質を評価するために、スラブの頭部、底部より 60 mm 角×長さ 200 mm の角棒を切り出し、直径 30 mm に鍛伸して焼鈍し、引張試験を実施した。Table 2 にその結果を示す。頭部、底部とも ASTM 規格値を十分満足し、この鋳塊は組成、引張性質とも ASTM 規格に適合する品質であることを確かめた。

3.2 β 変態点の測定

875～900°C の範囲内で 5°C 間隔の温度で 1 h 保持し、焼入れした試料 (直径 22 mm×厚さ 15 mm) についてマイクロ組織を観察した。895°C では、初析 α 相が少数点在しており、900°C では、初析 α 相が皆無であったことより、β 変態点はこの間の温度にあると推定された。TIMET が報告²⁾している β 変態点は、890±12°C であり、今回の供試材はこの範囲内にあつた。β 安定化元素の Ni と Mo が少量であるため、G3 (910°C) と比べてわずか 10～15°C 低い程度であつた。

3.3 製造加工性

工業用純チタンと同様のプロセスで冷延コイル、板、棒、線および薄肉溶接管に加工できた。

3.4 材料品質評価

3.4.1 常温引張り、曲げ性質

Table 3 に板および棒の常温引張りおよび曲げ性質を示す。引張強さと耐力は G3 と同一レベルであつた。板の曲げ性質は厚さ 3 mm で 2.5 TR (板厚 T の 2.5 倍

Table 3. Tensile and bending properties of G12 plate sheets and bars.

Item	DIR.*	UTS kgf/mm ²	YS kgf/mm ²	ELONG. %	Bend Radius or RA
ASTM B 265/ B 381	L T	49.2 min	35.2 min	18 min	< 1.78 t 2 TR 1.78~4.75t 2.5 TR
30 t Plate	L	53.7	40.2	26	45 (RA%)
	L	53.8	39.8	25	46 (")
	T	53.1	42.2	28	50 (")
	T	53.7	42.7	27	50 (")
	(T-L)	-0.4	2.5	2	4
3 t Hot band	L	51.2	37.9	24	Good (2.5 TR)
	L	52.4	37.9	21	Good (2.5 TR)
	T	66.9	59.7	20	Good (2.5 TR)
	T	66.4	59.4	20	Good (2.5 TR)
	(T-L)	14.8	21.7	-3	
1.5 t Cold coil	L	55.4	37.7	23	Good (2 TR)
	L	55.4	37.6	23	Good (2 TR)
	T	60.8	51.7	22	Good (2 TR)
	T	61.1	51.3	21	Good (2 TR)
	(T-L)	5.6	13.9	-2	
0.75 t Cold coil	L	54.0	37.4	24	Good (2 TR)
	L	54.0	37.3	24	Good (2 TR)
	T	54.8	45.3	24	Good (2 TR)
	T	54.9	45.4	24	Good (2 TR)
	(T-L)	0.9	8.0	0	
0.50 t Cold coil	L	54.6	39.4	25	Good (2 TR)
	L	54.9	39.5	25	Good (2 TR)
	T	53.0	45.7	28	Good (2 TR)
	T	53.9	45.8	25	Good (2 TR)
	(T-L)	-1.3	6.3	2	
25 φ Bar		54.9	44.3	21	50 (RA%)
40 φ Bar		57.8	46.3	18	42 (RA%)

* L: Longitudinal T: Transverse

の曲げ半径 R), 厚さ 0.5, 0.7, 1.5 mm が 2 TR でそれぞれ 105° 曲げが可能であった。

3.4.2 高温引張性質

Fig. 1 に厚さ 3 mm の板の常温~400°C までの引張性質を示す。比較として G3 のデータを破線で示すが、高温になるほど G12 の方が強度が高かった。ASME SEC. VIII DIV. 1³⁾ で定めている高温の最大許容力を Table 4 に示すが、G3 あるいは G7 より高い許容応力

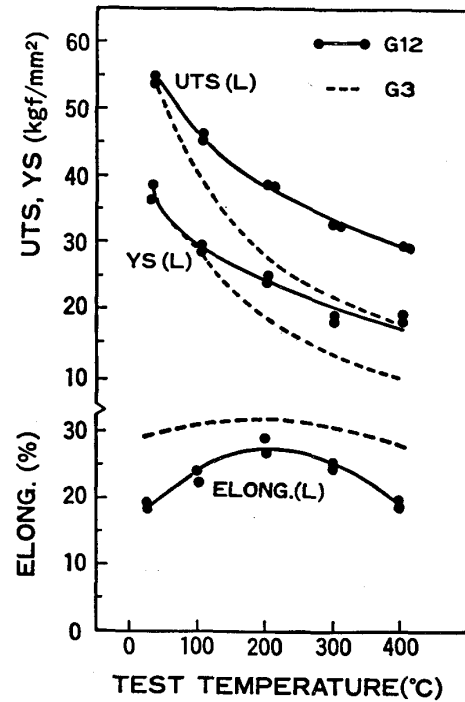


Fig. 1. High temperature tensile properties of G12 Sheet.

となっており、その分、板厚を薄くできるメリットがあると考えられる。今回の供試材の値を Table 4 に併記して示す。

3.4.3 シャルピー衝撃性質

Fig. 2 に直径 22 mm 丸棒から切り出した試験片による 2mmV ノッチシャルピー衝撃値を示す。0°C における衝撃値は 4.3 kgf·m/cm² であり、-196°C から 500°C までほぼ直線的に変化し、高温ほど高いじん性を示すことが判明した。

3.4.4 ヤング率, ポアソン比

Fig. 3 に常温から 300°C までのヤング率およびポアソン比の測定結果を示す。測定は丸棒引張試験片にストレンゲージを貼付して測定した。ヤング率は常温で

Table 4. Maximum allowable stress values in tension for nonferrous metals (ASME SEC. V III DIV. 1)³⁾.

Form	Grade	Specified Strength kgf/mm ²		Maximum Allowable Stress kgf/mm ² , °C										
		UTS	YS	38	66	93	121	149	177	204	232	260	288	316
Sheet	G2	35.2	28.1	8.8	8.4	7.7	7.0	6.3	5.9	5.4	5.1	4.6	4.4	4.0
Strip	G3	45.7	38.7	11.5	11.0	10.1	9.1	8.2	7.3	6.5	5.8	5.3	4.7	4.2
Plate	G7	35.2	28.1	8.8	8.4	7.7	7.0	6.3	5.9	5.4	5.1	4.6	4.4	4.0
SB-265	G12	49.2	35.2	12.3	12.3	11.5	10.7	10.0	9.3	8.8	8.4	8.0	7.8	7.6
Material tested, 3 mm ^t sheet		49.2	35.2			11.5 (100°C)			9.8 (200°C)					8.3 (300°C)

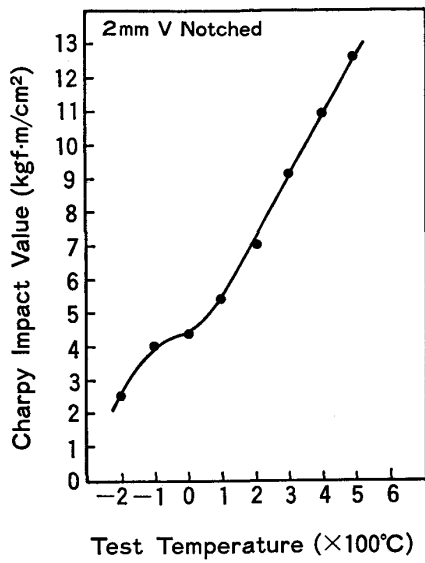


Fig. 2. Low and high temperature Charpy impact values of G12 bar.

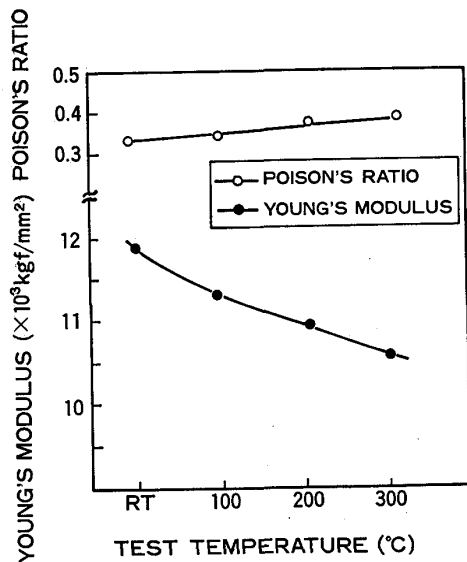


Fig. 3. Young's modulus and poisson's ratio of G12 bar.

12000 kgf/mm² に近い値で、工業用純チタンの 11530 kgf/mm² ³⁾より大きい値を示した。温度が高くなると低下する傾向を示した。いつぼりポアソン比は常温から 300°C まで 0.35~0.34 を示した。

3.4.5 高サイクル疲労性質

Fig. 4 に回転曲げ疲労試験機による丸棒平滑試験片の疲労性質を示す。常温における 1×10⁷ サイクルの疲労

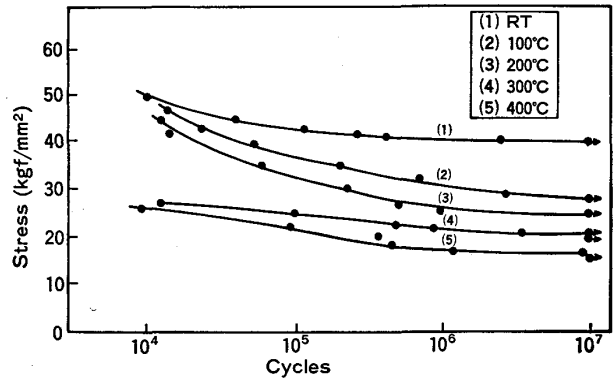


Fig. 4. Unnotched high cycle fatigue strength of G12 bar.

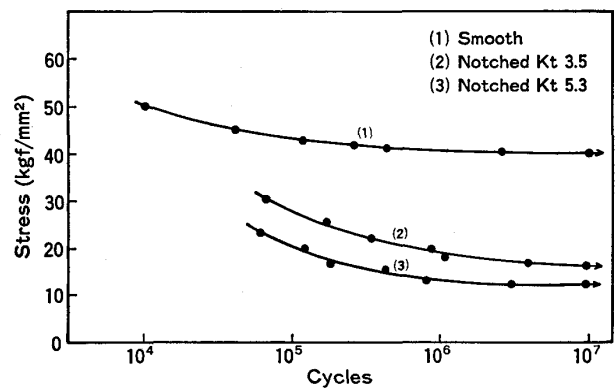
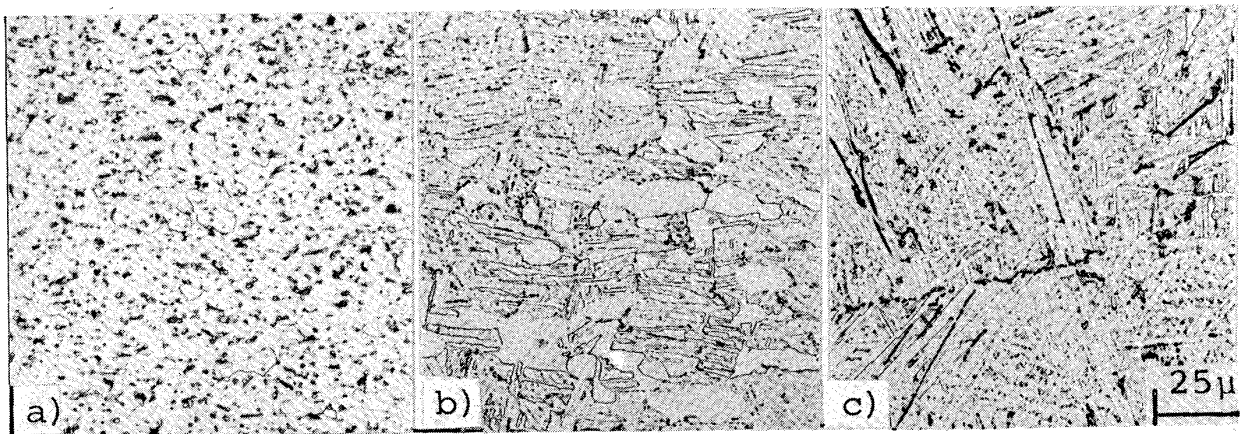


Fig. 5. Notched high cycle fatigue strength of G12 bar.



a) 700°C Annealed b) 895°C WQ c) 900°C WQ

Photo. 1. Microstructures of G12 sheet in three heat treatment conditions.

Table 5. Tensile, flaring, flattening and reverse flattening properties of G12 thin wall welded tubes.

Tube size (mm)	UTS kgf/mm ²	YS kgf/mm ²	El %	Flaring	Flattening	Reverse flattening
ASTM B338	49.3 min	35.2 min	18 min	>1.17 ID	$H = \frac{(1+e)t}{e+t/D}$	180°
25.4φ × 0.5t	58.2	46.8	34	Good	Good	Good
	58.2	46.2	33	Good	Good	Good
25.4φ × 0.7t	57.8	49.6	32	Good	Good	Good
	57.8	49.8	26	Good	Good	Good

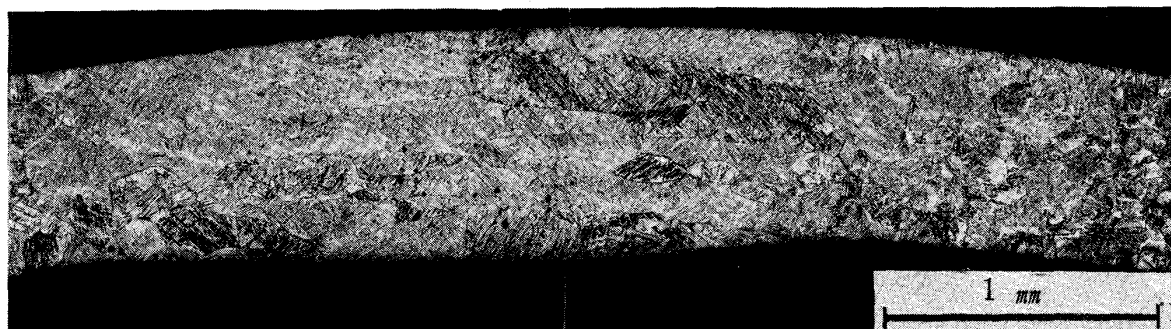


Photo. 2. Microstructure of weld bead of the thin wall welded tube.

強度は 40 kgf/mm² であった。300°C では常温の約半分の値になった。Fig. 5 に切欠試験片による常温の疲労曲線を示すが、G12 は切欠きには比較的敏感であると思われた。

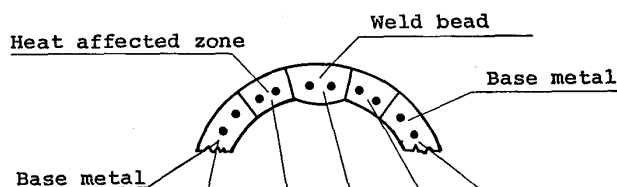
3.4.6 ミクロ組織

Photo. 1 に厚さ 0.7 mm の板の熱処理後のミクロ組織を示す。700°C 焼鈍状態では初析 α 相と微細な β 相が認められた。895°C (β 変態点直下) に加熱後焼入れすると、初析 α 相と Transformed β 相の混合組織となり、900°C (β 変態点直上) では 100% Transformed β 相となった。焼鈍組織から、G12 は β 相の少ない α + β 合金と考えられた。

3.5 薄肉溶接管の品質評価

外径 25.4 mm, 厚さ 0.5 および 0.7 mm の薄肉溶接管を製造し、ASTM B338 にもとずいた品質試験を実施した。Table 5 に引張性質, 押広げ, 扁平および展開試験の結果を示す。引張強さおよび耐力は規格値を約 10 kgf/mm² 上まわっており, 伸びも高く, 規格を満足した。押し広げは内径の 1.17 倍以上, 扁平は高さ $H = 10.8$ mm (厚さ 0.7 mm の場合) および 8.7 mm (厚さ 0.5 mm の場合), 展開は 180° の要求値であるが, どちらの溶接管ともこの値を満足した。

Photo. 2 に溶接部の低倍率断面写真を示す。ビード形状は滑らかで良好であった。Fig. 6 に母材からビード部にかけてのかたさを示す。ビード部は母材部より約 40 くらい高かった。



Tube Size (mm)	1		2		1		2		1		2	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
25.4φ × 0.5t	165	165	201	201	201	210	197	189	168	165		
25.4φ × 0.7t	168	165	205	205	210	210	201	197	168	165		

Hv : load 1 kg

Fig. 6. Hardness of thin wall welded tubes.

Table 6. Results of bending tests by 300 mm wide specimens on G12 plates.

Specimen size mm	Bend radius		Remarks (Test temp.)
	3TR	2TR	
	300 × 300 w	Good	Cracked
300 × 300 w	Good	Good	600°C

3.6 曲げ成形性, 溶接性評価

3.6.1 曲げ, 成形加工性

ASTM B265 に定められている曲げ試験片は幅 25.4 mm である。しかし, 実際の製缶加工においてはもつと幅の広い場合が多い。Table 6 は 幅 300 mm の広幅曲

げ試験片を常温と 600°C で曲げ加工したときの結果である。厚さ 3 mm の板の常温 90° 曲げでは 3 TR で良好に曲がり 2 TR ではわれが発生した。2 TR 以下の曲げ加工においては温間加工が推奨される。厚さ 30 mm の板の 600°C, 90° 曲げでは 3 TR および 2 TR の曲げ半径でもわれが発生しなかつた。

鏡板の成形加工においては、675°C の熱間加工がわ

れ、および出来上がり精度の面から推奨できる。ブランクの直径線にそつて溶接線を入れ、直径 500 mm の 1/2 楕円鏡板を製作した。675°C で成形すると、母材、ビード部ともわれが発生せず、精度よく成形できた。

3.6.2 溶接加工

G 12 の溶接性について、ASME SEC. IX⁴⁾ に従つて評価した。厚さ 3 mm と 30 mm の板について、TIG

Table 7. Welding procedures of G12 plates.

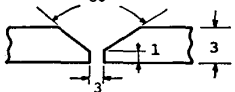
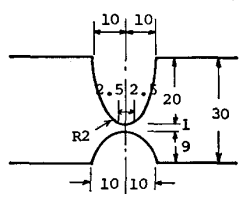
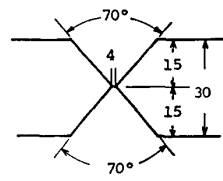
PROCEDURES	TIG(MANUAL)	TIG(MANUAL)	MIG(AUTOMATIC)
MATERIALS	THICKNESS 3 mm SHEET	THICKNESS 30 mm PLATE	THICKNESS 30 mm PLATE
JOINTS GROOVE DESIGN			
PREHEAT TEMP. (°C)	R.T	12 - 99	R.T
AMPS (A)	110 - 140	210 - 245	400 - 420
VOLTS (V)	12 - 15	13 - 15	28 - 30
HEAT INPUT (KJ/CM)	12.6	13.0	21.6
TRAVEL SPEED (CM/MIN)	10 - 15	13 - 17	35 - 42
SHIELDING GAS (L/MIN)	7	>7	>7
BACKING GAS (L/MIN)	>60	>60	>60
TRAILING GAS (L/MIN)	>50	>50	>50

Table 8. Results of mechanical tests of welded joints on G12 plates.

Properties	TIG (Manual)	TIG (Manual)	MIG (Automatic)
Materials	Thickness 3 mm sheet	Thickness 30 mm plate	Thickness 30 mm Plate
Room temperature tensile	UTS kgf/mm ² 58.3 57.4 Broken position B. M B. M	UTS kgf/mm ² 58.6 59.4 Broken position B. M B. M	UTS kgf/mm ² 58.6 59.0 Broken position B. M B. M
High temperature tensile	—	UTS kgf/mm ² YS kgf/mm ² El% RA% Broken position 200°C 32.5 25.2 26 56 B. M 32.4 25.0 25 55 B. M 300°C 26.3 20.0 22 64 B. M 26.5 20.1 23 63 B. M	UTS kgf/mm ² YS kgf/mm ² El% RA% Broken position 200°C 32.9 23.9 20 54 B. M 33.6 24.4 20 53 B. M 300°C 27.4 20.1 20 61 B. M 26.9 19.6 20 63 B. M
Bending (180°)	Face bend 5TR Good Root bend 5TR Good	Face bend 5TR Good Root bend 5TR Good Side bend 5TR Good	Face bend 5TR Good Root bend 5TR Good Side bend 5TR Good
Charpy impact (2 mmV)	—	B. M 6.3-7.7 (7.0) kgf·m HAZ 3.9-4.4 (4.0) kgf·m DEPO. 2.1-3.0 (2.7) kgf·m	B. M 6.3-7.2 (6.7) kgf·m HAZ 3.0-4.9 (3.9) kgf·m DEPO. 1.7 (1.7) kgf·m
Hardness (HV)	B. M 195-221 (211) HAZ 178-201 (190) DEPO. 167-204 (191)	B. M 175-192 (179) HAZ 173-203 (188) DEPO. 182-228 (208)	B. M 173-188 (180) HAZ 182-219 (198) DEPO. 193-222 (208)

B. M: Base Metal, HAZ: Heat Affect Zone, DEPO: Deposit () Average value

手動溶接法および MIG 自動溶接法で実施した。

Table 7 に溶接条件をまとめて示す。通常の工業用純チタンとほぼ同じ条件である。Table 8 に溶接継手の試験成績をまとめて示す。この結果から、常温～300°C における継手引張性質は、全数母材より破断し、十分な継手強度を有していることを確認した。継手曲げ性質は、Face Bend, Root Bend, Side Bend とともに ASME の要求値 5T を満足した。シャルピー衝撃値は、継手強度の増加に見合つて、やや低下する傾向を示した。

かたさは母材で 180 である(厚さ 3mm の母材は 211 と高いのは加工履歴の相違によつて生じる集合組織、ミクロ組織等の相違にもとづくものと推定される⁵⁾) のに対して、溶接部は 200 前後であつた。

3.7 耐すきま腐食性評価

マルチクレビス試験片を用いて、沸騰の 20% NaCl 溶液 (pH=4) および 42% MgCl₂ 溶液中におけるすきま腐食発生率(試片に付与した全人工すきま数に対する腐食発生すきま数の割合)を評価した結果を Table 9 に示す。

G2 が 20% NaCl 溶液中で 13%、42% MgCl₂ 溶液中で 56% の発生率を示したのに対し、G12 はいずれの環境においても 0% (すきま腐食の発生皆無) であり、G7 と全く同等の値となつて、すぐれた耐すきま腐食性を有することが明らかとなつた。

塩化物溶液中でのチタンのすきま腐食は、すきま内に

Table 9. Results of crevice corrosion tests for titanium alloys G12, G7 and G2 in boiling chloride solutions (Metal/PTFE-Multi crevice specimen).

Ti alloy	Rate of crevice attack occurrence (%)	
	20%NaCl (pH4)*	42%MgCl ₂ **
G12	0	0
G7	0	0
G2	13	56

* 240h, ** 48h

Table 11. Typical application of G12 alloy in USA⁷⁾.

Industrial field	Equipment	Service conditions	Incentive for G12 Use
Salt evaporation	Shell & tube reboilers	Sat. NaCl Brine 230~270°F	Crevice corrosion resistance
Oil refinery	Crude overhead condensers	Hydrocarbon, HCl, H ₂ S NH ₃ , NH ₄ Cl-deposits 200~350°F	Ditto
Wet air oxidation of sewage sludge	Double-pipe Heat exchangers	Cl ⁻ (~10%), Organics, Metal Ions, CN ⁻ 400~600°F	Crevice corrosion resistance + High temperature strength
Hydro metallurgical acid leaching of metallic ores	Pressure vessels	HCl, H ₂ SO ₄ , Fe ³⁺ , Ni ²⁺ Cu ²⁺ , Mo ⁶⁺ 200~450°F	Ditto

Table 10. Depassivation pH for titanium alloys G12, G7 and G2 in 1M NaCl solution with HCl addition at boiling point.

Ti alloy	Depassivation pH
G12	0.2
G7	<0
G2	1.1

における Cl⁻ イオンの濃縮と pH 低下によるチタンの不動態から活性溶解への移行現象(いわゆる脱不動態化: Depassivation)と考えられる⁶⁾。したがつて、脱不動態化挙動の差異が間接的な耐すきま腐食性の評価になりうるものと考えられるため、沸騰 1M NaCl 溶液中において Depassivation pH を測定した。結果を Table 10 に示す。

G12 の Depassivation pH は 0.2 となり、G2 の 1.1 に比較して低く、格段に高水素イオン濃度まで不動態を維持できる。ことが判明したこのとき G7 の Depassivation pH は 0 以下であり、G12 と G7 ではやや差があることも知られた。

これらの結果より、G12 は G2 に比較してはるかに高い耐すきま腐食性を有しており、G7 との比較では全く同等レベルには達しないものの、G7 の性能に迫るものであると考えられた。

4. 結 言

今回行つた ASTM Grade 12 チタン合金の量産レベルの製作により、工業用純チタンと同様のマスコ体制を確立するとともに、G12 の耐食性、高温許容応力、ヤング率、疲労強度など、すぐれた特性を確認した。

このような、すぐれた特性を利用して、米国ではすでに、Table 11⁷⁾ に代表的な適用例を示すように、石油精製、ジンプロ汚水酸化処理用熱交換器、湿式冶金、海水淡水化装置、発電用排煙脱硫廃液処理装置、地熱発電、

高レベル放射性廃棄物の貯蔵用キャニスター等の分野で、かなりの使用実績が蓄積されているようである。

国内においても、同様の分野で実機装着テストがすでに始まっております、今後、大幅に需要が伸びてゆくものと推測される。

文 献

- 1) Annual Book of ASTM Standards (1985) Sec. 2 B265 p. 174, B337 p. 203, B338 p. 209, B348 p. 218, B363 p. 265, B381 p. 292
- 2) R. W. SCHUTZ, J. A. HALL and T. L.

WARDLAW: チタニウム協会創立 30 周年記念国際シンポジウム論文集 (1982), p. 73

- 3) ASME Boiler and Pressure Vessel Code an American National Standard Sec. V III Div. 1 (1980) p. 320
- 4) ASME Boiler and Pressure Vessel Code an American National Standard Sec. IX (1980), p. 1
- 5) 西村 孝, 長谷川 淳: 神戸製鋼技報, 32 (1982), p. 44
- 6) 佐藤広士, 上窪文生, 下郡一利: 防食技術, 32 (1983), p. 69
- 7) J. P. DOYLE: Private Communication