
表面軟化二層クラッド鋼板の液体アンモニアタンクへの適用

Application of Surface-softened, Two-layer Clad Steel Plates to Liquid Ammonia Tank

奥村 健人(Taketo Okumura) 三代 祐嗣(Yuji Mishiro) 中井 揚一(Yoichi Nakai) 上
杉 康治(Yasuharu Uesugi) 平井 征夫(Masao Hirai)

要旨：

千葉製鉄所に表面軟化二層クラッド鋼板を用いて 10 トン液体アンモニア球型タンクを製造設置した。併行して行った実機タンクにおける各種研究の結果、以下のことが判明した。

1) 表面軟化クラッド鋼の製造法として鋳込圧延法と肉盛圧延法の 2 方法を比較したが、性能上全く差が無かった。2) タンクは液安割れの発生しやすい通常の条件下に維持されていたが、開放検査の結果無欠陥であった。3) 軟鋼部の液安 SCC に対する必要厚さは 1 mm で十分であった。4) 高張力鋼用溶接金属に対して軟鋼溶接金属による軟層処理は有効である。5) 液安割れ防止のための PWMT は、当鋼板においては必要ない。

Synopsis：

The present paper describes the record of a ten-ton liquid ammonia spherical tank made of surface-softened, two layer clad steel plates constructed in Chiba Works, together with research works performed concerning the actual tank. The main results were obtained as follows: (1) No difference was found in properties between enshrouding roll clad and welding roll clad steel plates. (2) No cracking was observed by the in-service inspection of the experimental tank, which had been maintained in the actual operation conditions that were severe enough to nucleate cracks in ordinary steel plates. (3) It was confirmed that the thickness of the softened surface layer required to prevent stress corrosion cracking by liquid ammonia was 1mm. (4) Dressing the weld metal for high strength steels with soft weld metal was an effective measure for preventing stress corrosion cracking by liquid ammonia. (5) Port weld heat treatment was not necessary for preventing the surface-softened, two-layer clad steel plates from developing stress corrosion cracking by liquid ammonia.

(c)JFE Steel Corporation, 2003

本文は次のページから閲覧できます。

表面軟化二層クラッド鋼板の液体アンモニアタンクへの適用

川崎製鉄技報

15(1983)1, 19-28

奥村 健人* 三代 祐嗣** 中井 揚一*** 上杉 康治**** 平井 征夫*****

Application of Surface-softened, Two-layer Clad Steel Plates to Liquid Ammonia Tank

Taketo Okumura, Yuji Mishiyo, Yoichi Nakai, Yasuharu Uesugi, Masao Hirai

要旨

千葉製鉄所に表面軟化二層クラッド鋼板を用いた10トン液体アンモニア球型タンクを製造設置した。併行して行った実機タンクにおける各種研究の結果、以下のことが判明した。1) 表面軟化クラッド鋼の製造法として鑄込圧延法と肉盛圧延法の2方法を比較したが、性能上全く差が無かった。2) タンクは液安割れの発生しやすい通常の条件下に維持されていたが、開放検査の結果無欠陥であった。3) 軟鋼部の液安 SCC に対する必要厚さは1 mm で十分であった。4) 高張力鋼用溶接金属に対して軟鋼溶接金属による軟層処理は有効である。5) 液安割れ防止のための PWHT は、当鋼板においては必要ない。

Synopsis:

The present paper describes the record of a ten-ton liquid ammonia spherical tank made of surface-softened, two layer clad steel plates constructed in Chiba Works, together with research works performed concerning the actual tank.

The main results were obtained as follows:

- (1) No difference was found in properties between enshrouding roll clad and welding roll clad steel plates.
- (2) No cracking was observed by the in-service inspection of the experimental tank, which had been maintained in the actual operation conditions that were severe enough to nucleate cracks in ordinary steel plates.
- (3) It was confirmed that the thickness of the softened surface layer required to prevent stress corrosion cracking by liquid ammonia was 1 mm.
- (4) Dressing the weld metal for high strength steels with soft weld metal was an effective measure for preventing stress corrosion cracking by liquid ammonia.
- (5) Post weld heat treatment was not necessary for preventing the surface-softened, two-layer clad steel plates from developing stress corrosion cracking by liquid ammonia.

1. 緒 言

従来、液体アンモニア（以下液安）を貯蔵するタンクは主として経済性の面から60kgf/mm²級高張力鋼が使用されてきた。しかし、1970年初期に60kgf/mm²級高張力鋼を使用した液安タンク内面に微細な割れが多数認められたため、「高張力鋼使用基準」が定められ、全体焼鈍による溶接後熱処理（以下PWHT）が60kgf/mm²級鋼の液安タンク使用の必須条件とされた¹⁾。以来、高張力鋼の使用は事実上不可能となり、近年はアルミキルド鋼で設計される例が多い。

割れの機構解明に当たっては数多くの研究が行われているが、実環境での割れを容易に再現できる促進試験法が開発²⁾されたことにより、液安応力腐食割れ（以下液安 SCC）におよぼす腐食環境因子の影響、水素脆性の関与の有無および、その電気的、化学的挙動がいつそう明確になった³⁾。研究結果から液安 SCC は水素脆性の関与しない活性化経路割れ（以下 APC）であることが判明し、耐液安 SCC 鋼の具備すべき条件として、容器の接液部を割れにくくすることが必要となった。

一方、各種鋼材およびその溶接継手を稼働中の実タンクに浸

漬したり促進試験で調査したところ、液安 SCC は負荷応力が高いほど、また、硬さが高いほど敏感であり、溶接熱影響部の硬さも含め、 $H_v=190$ 以下に抑えれば、負荷応力にかかわらず割れが発生しないことがわかった⁴⁾。

以上の結果からタンク接液部を軟鋼アルミキルド鋼、母材部をSPV50Q鋼より成る表面軟化二層クラッド鋼板を製造すれば、軟鋼部により液安 SCC を防止でき、母材部により強度を高めることが可能であると予想される。

本報告は、千葉製鉄所に建設した表面軟化二層クラッド鋼板を用いた10トン液体アンモニア球型タンクの製造結果、および実機タンクを使用して行った耐液安割れ特性の研究結果である。

2. 表面軟化二層クラッド鋼板使用による液安貯蔵タンクの大型化の可能性

高圧ガス取締法によれば、球型タンクの肉厚の計算には次式が用いられる⁵⁾。

$$t = \frac{pD_1}{400\sigma_a\eta - 0.4p} + C$$

* 千葉製鉄所管理部厚板管理室主任（課長）
*** 技術研究所第2研究部腐食防食研究室主任研究員（課長）
***** 技術研究所第2研究部溶接研究室主任研究員（課長）
〔昭和57年10月1日原稿受付〕

** 千葉製鉄所管理部厚板管理室
**** 技術研究所第2研究部腐食防食研究室

- t : 鋼板の最小厚さ (mm)
 p : 設計圧力 (kgf/cm²)
 D_i : 腐れ代を含んだ胴の内径 (mm)
 σ_a : 設計温度における材料の許容引張応力 (kgf/mm²)
 η : 溶接継手の効率
 C : 腐れ代

ここで σ_a は Table 1 により与えられ⁶⁾、必要板厚は各種幾何容積、設計圧力に応じて Table 2 に示すごとく鋼種別に求まる。表面軟化二層クラッド鋼の σ_a は、軟鋼部の厚さを腐れ代と同等またはそれ以下にすれば SPV50Q の値をそのまま用いることができる。

軟鋼部の厚さを決めるとき考慮すべき要因としては、腐れ代以外に表面軟化二層クラッド鋼板の製造の制約条件、加工時の表面に対する損傷条件があげられる。これらの要因が設定腐れ代の値を超える場合、軟鋼の強度低下度をクラッド比に応じて想定し、それに見合う分だけ母材の引張強さを高めておけば、軟鋼部を含めた全厚で SPV50Q の引張強さの範囲にコントロールすることも可能である。このことは軟鋼部の厚さが腐れ代を超えたときでも必要板厚を増加させない技術的可能性を物語

Table 1 Design stress, σ_a , for spherical tanks (at 40°C)

Steel grade	σ_a (kgf/mm ²)
SPV24, SLA24	10.3
SLA33A	14.3
SLA37	15.9
SPV46	18.5
SPV50	19.8

Table 2 Plate thickness required to spherical tanks made of different steels with respect to geometric volume and design pressure

Steel grade	Design pressure (kgf/cm ²)	10		20		30	
	Volume (m ³)	500	1 000	500	1 000	500	1 000
Steel grade	SPV24 SLA24	26	32	49	62	73	92
	SLA33A	19	23	35	44	52	65
	SLA37	17	22	32	41	48	60
	SPV46	15	19	28	36	42	52
	SPV50	14	18	27	33	40	49

Dimensions of tanks for calculation

Geometric volume (m ³)	500	1 000
Inner diameter (mm)	9 860	12 500
Welded joint efficiency	1.0	1.0
Corrosion margin (mm)	1	1

Table 3 Number and dimensions of spherical tanks with wall thickness of 38 mm required to contain 30 000m³ liquid at pressure of 10kgf/cm²

Steel grade	SPV24 SLA24	SLA33	SPV50
Number of tanks	15	6	2
Inner diameter (m)	15.64	21.22	30.6
Geometric volume (m ³)	2 000	5 000	15 000
Thickness (mm)	38	38	38
Weight of shell plates (t)	3 436	2 531	1 754

っている。

設計圧力 10kgf/cm²、腐れ代 1 mm として許容引張応力の異なる板厚 38mm の 3 種類の鋼材を用いて球型タンクを設計すると Table 3 のようになる。この比較結果からも、表面軟化二層クラッド鋼による経済的優位性は明らかである。

3. 実機タンクの概要と狙い

実機タンクの全体図を Fig. 1、設計仕様を Table 4、板割り図を Fig. 2 に示す。実機タンクの設計にあたって下記の点に留意した。

- (1) 表面軟化二層クラッド鋼の製造法としては鑄込圧延法と溶接肉盛圧延法の 2 種類を適用して比較する。
- (2) タンクの規模は 10 トンとし、併設した円筒枕型タンクの直径 (約 3 300mm) に合わせた。両者をパイプで連結することにより、液面変動条件は実操業に一致させる。
- (3) タンクを小径にすることにより、加工条件を極度に苛酷に

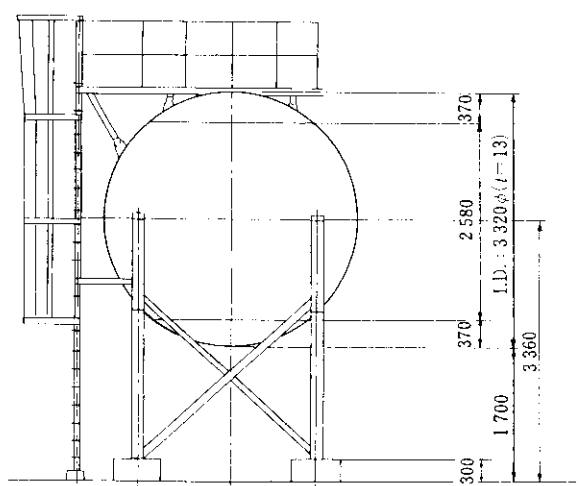


Fig. 1 Appearance of a 10 ton spherical liquid ammonia tank

Table 4 Design specifications of a 10 ton spherical liquid ammonia tank

Type	All welded spherical tank	
Content	Liquid ammonia	
Capacity	10 t	
Geometric volume	19.16 m ³	
Inner diameter	3 320 mm	
Design pressure	18 kgf/cm ² ·G	
Design temperature	0 ~ 40°C	
Specific gravity	Shell	0.58 (at 40°C)
	Support	0.64 (at 0°C)
Welded joint efficiency	100%	
Corrosion margin	3.0 mm	
Hydraulic test pressure	27 kgf/cm ² ·G	
Air tight test pressure	18 kgf/cm ² ·G	
Earthquake coefficient	0.45	
Wind pressure	120 $\sqrt{h}$ kgf/m ²	
Design code	Regulation of high pressure gas	
	Design specification of steel structure	

h : Height of equipment from ground

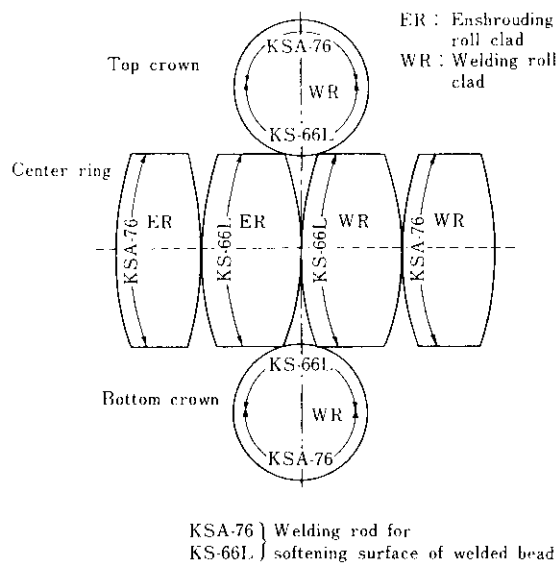


Fig. 2 Unfolding figure of a 10 ton spherical ammonia tank

して加工性を確認すると同時に、残留応力を高め使用中の液安 SCC を起こしやすくする。

(4) 軟鋼部の厚さを1.0~1.6mm とし、今後使用される腐れ代の下限值に近づける。

(5) 溶接金属部の液安 SCC を防止するため、各種の溶接部軟層処理を試みる。

(6) 溶接作業は球殻板相互の溶接はすべて現地溶接とする。したがって溶接姿勢は全姿勢溶接とする。

(7) トップおよびボトムクラウンはマンホール、ノズル等を取り付けた後、PWHT は行わず溶接のままで使用する。

(8) タンクの製造および使用に併行して、切断残材の液安 SCC 促進試験、マンホール抜き板による残留応力測定、タンク内部への各種鋼材の浸漬試験を実施する。

4. 実機タンクの製造

4.1 鋼板の製造

2 種の表面軟化二層クラッド鋼板の製造方法を Fig. 3 に示す。いずれの製造法も製造過程が単純で、安価に大量生産可能な技術である。鋼板の化学成分と機械的性質を Table 5, 6 に示す。ここで引張試験および衝撃試験は、軟鋼部を含むものと、削除したものの2種類について行ったが両者とも SPV50Q の規格を十分に満足した。表曲げ、裏曲げを行ったが、クラッド界面の剥離は発生しなかった。せん断試験の結果もすべて30kg f/mm²以上と良好な結果であった。

板厚13mm の表面軟化二層クラッド鋼における軟鋼部の厚さ

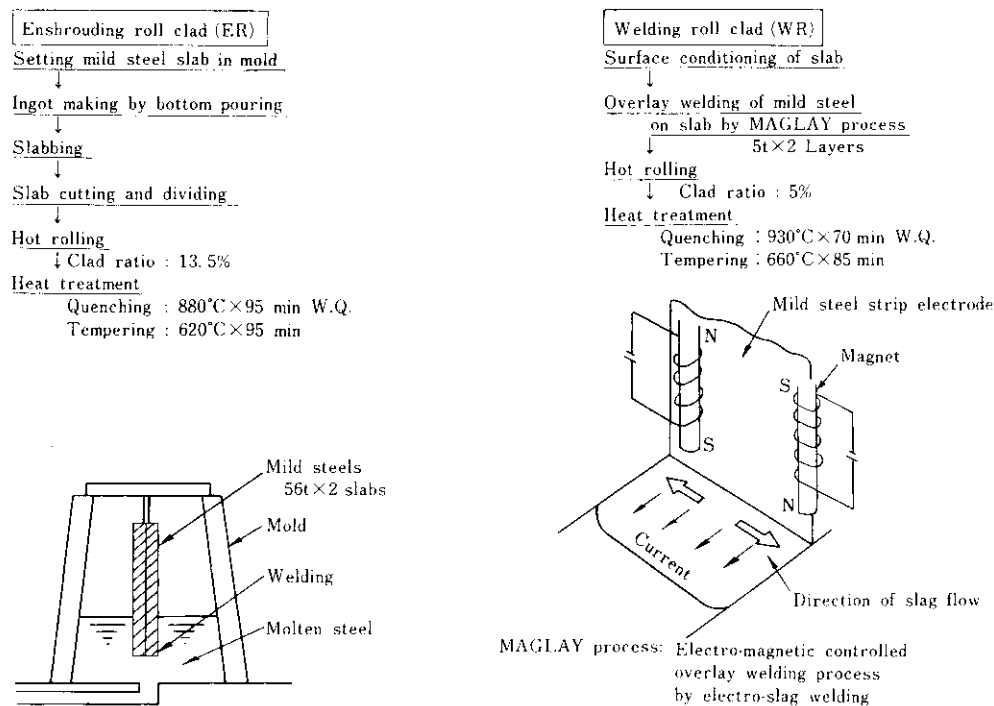


Fig. 3 Methods of making clad steel plates

Table 5 Chemical analysis

Cladding method	material	Chemical composition (wt%)									
		C	Si	Mn	P	S	Ni	Mo	V	C _{eq}	P _{CM}
ER	Base metal	0.14	0.28	1.35	0.020	0.004	0.33	0.105	0.036	0.41	0.23
	Cladding metal	0.04	Tr.	0.30	0.015	0.013	—	—	—	0.09	—
WR	Base metal	0.14	0.26	1.24	0.017	0.008	—	—	0.038	0.36	0.22
	Cladding metal	0.04	Tr.	0.22	0.012	0.013	—	—	—	0.08	—

Table 6 Mechanical properties

Cladding method	Plate (Thickness)	Specimen type	Tensile test			V Charpy impact test (kgf·m)			
			Y.P. (kgf/mm ²)	T.S. (kgf/mm ²)	El (%)	C-direction		L-direction	
ER	ER-A (13mm)	A	60.2	67.8	31	14.7	Ave. 14.7	15.9	Ave. 16.6
						14.7		17.0	
						14.6		17.0	
		B	62.7	70.0	29	14.5	15.1	17.9	17.8
						15.5		18.0	
						15.2		17.5	
	ER-B (13mm)	A	61.6	67.9	30	17.2	16.9	17.1	18.2
						16.3		18.7	
						17.1		18.7	
		B	63.6	69.8	29	16.9	17.4	23.8	21.7
						17.5		21.2	
						17.8		20.0	
WR	WR-A (13mm)	A	59.8	67.2	27	12.5	13.1	17.3	17.6
						13.2		18.1	
						13.6		17.5	
		B	62.1	69.8	25	14.3	13.8	17.8	18.1
						14.1		18.5	
						13.0		17.9	
	WB-B (13mm)	A	57.9	66.5	30	12.0	12.7	19.4	18.9
						13.2		18.2	
						12.9		19.2	
		B	59.6	68.7	29	14.5	13.6	18.5	19.1
						13.1		19.5	
						13.1		19.3	
	WR-C (26mm)	A	57.6	66.7	43	19.0	18.2	16.4	15.9
						18.8		17.4	
						16.7		14.0	
		B	58.2	67.2	42	21.0	21.0	19.3	19.7
						20.7		19.1	
						21.2		20.7	

A : Specimen with soft layer
B : Specimen with soft layer removed

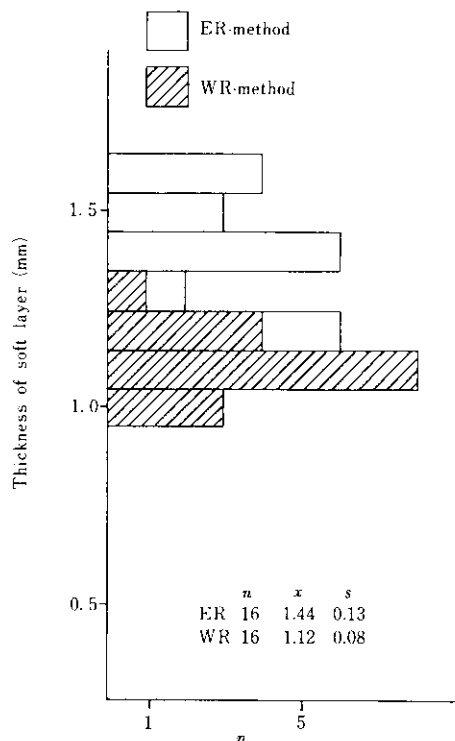


Fig. 4 Thickness of soft layer

を測定した結果を Fig. 4 に示す。また、断面硬さを Fig. 5 に示す。いずれのクラッド鋼も表面硬さは $H_v=140$ 以下となり所期のねらいを満足している。

4・2 溶接施工試験結果と施工実績

4・2・1 溶接施工試験結果

特定設備溶接施工法確認試験要領（案）に基づいて実施した。溶接条件および溶接施工試験結果を Table 7 に示す。母板側は 60kgf/mm^2 級難吸湿極低水素系溶接棒 KSA86 で溶接したあと、軟鋼側の最終層は軟鋼用低水素系溶接棒 KS66L を用い、溶接部軟層処理を行った。溶接棒の化学成分の代表値を Table 8 に示す。軟層処理は、軟鋼溶着金属の溶け込みを浅くするため小入熱で施工した。これらの継手における引張強さ、V シャルピー吸収エネルギーはいずれも液安タンクとして十分な値が得られた。

また、継手の表曲げ、裏曲げ、側曲げ試験ともに剥離等の異常は発生しなかった。

4・2・2 施工実績

実際のタンクの加工工程を Fig. 6 に示す。Fig. 2 の板割り図からも明らかなごとく板取りを単純化したためひずみ量計算値

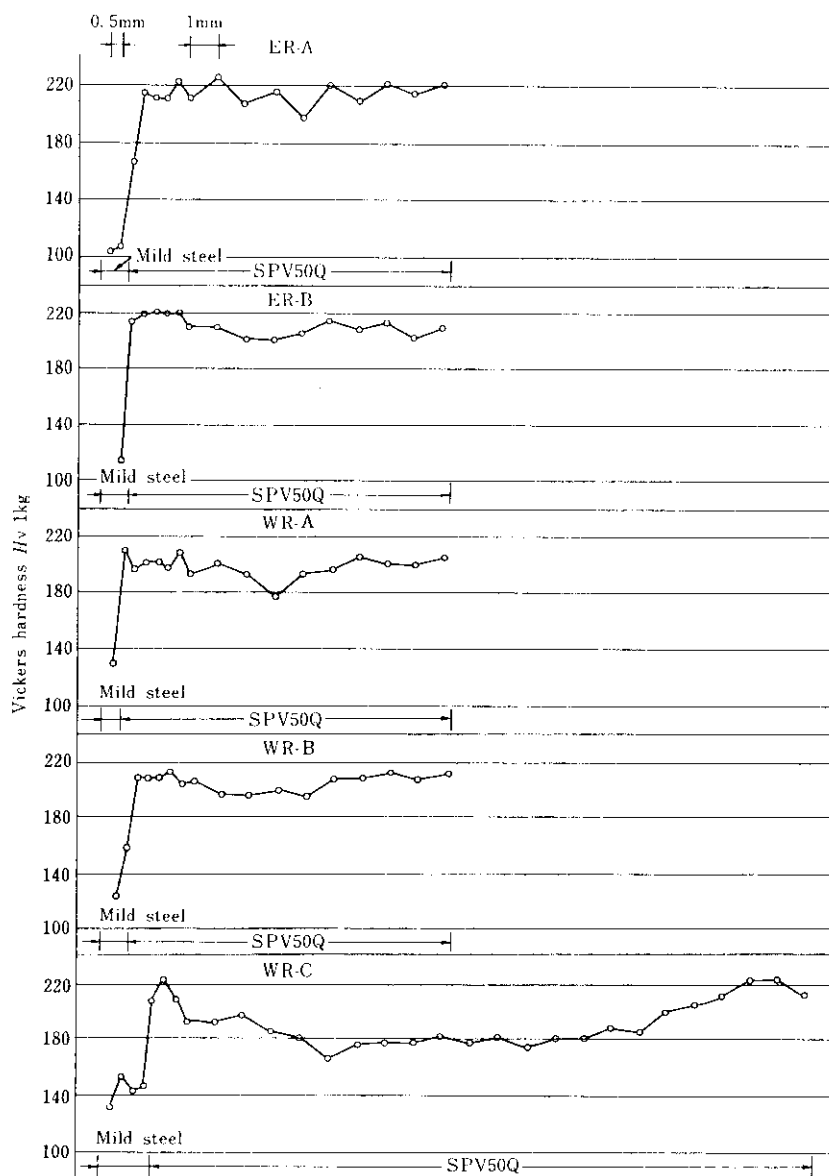


Fig. 5 Hardness distribution over plate thickness

はクラウン部0.78%，側板0.39%と大きい，いずれの鋼板もこれらの苛酷な加工を行っても異常は認められなかった。現地における外面溶接後内面ガウジング部のPT (Penetration test) 検査結果も良好で，補修を要する欠陥は皆無であった。

溶接部軟層処理として施工試験で使用する KS66L 以外に 50 kgf/mm² 級難吸湿溶接棒 KSA76 を各溶接姿勢毎に部分使用したり (Fig. 2 参照)，ノズル，マンホールの溶接に極軟鋼ワイヤ KT43 を用いた TIG 溶接法を採用した。KSA76, KT43 の溶接棒の化学成分を Table 9 に示す。完成したタンクの溶接部近傍の表面硬度を万能硬さ計 (商品名：エコチップ) で測定したが溶接金属部，熱影響部，母材部いずれも H_V 換算値 190 以下を満足していた。

タンクの完成写真を Photo. 1 に示す。

4.3 1 年間使用後のタンク開放検査結果

実験タンクは 1 年間，併設の円筒枕型タンクの運転条件に合わせて稼動した。Fig. 7 に液面レベル推移の一例を示す。

1 年間使用後実験タンクのみ停止して継手全線にわたって

PT, MT (Magnetic particle test) 検査を行ったが欠陥は皆無であった。以後に述べる試験結果とも合わせて考えるとさらに長時間使用により液安 SCC が発生する危険性はほとんどないと予想される。

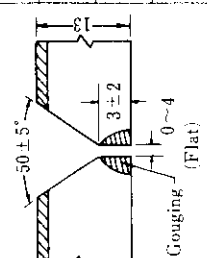
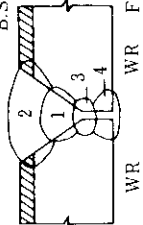
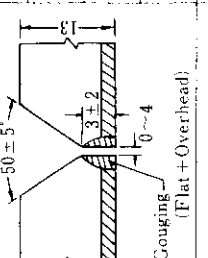
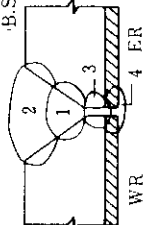
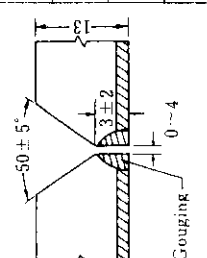
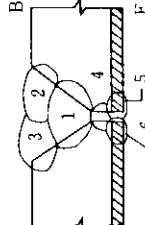
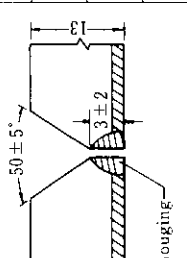
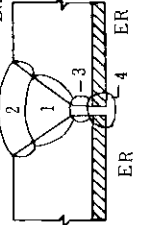
5. タンク製造に併行して行った各種試験結果

5.1 タンク残材による液安応力腐食割れ促進試験結果

厚さ 13mm の球型加工前の残材を用い，母材と溶接継手の 4 点支持曲げ試験用試料を作成した。溶接部の軟層処理は KS66L, KSA76 と軟層処理なしの 3 条件とした。試験片の製造方法，採取位置，形状寸法を Fig. 8, 9 に示す。また，継手試験片の表面硬さを Fig. 10, 11 に示す。これらを液安 SCC 促進試験に供した。

促進試験は当社で開発した液体アンモニアに飽和 CO₂ と気相分圧で 1 kgf/cm² の酸素を添加し，2.0V (vs. Pt) のアノード電位を付与した溶液を用い実施した。試験方法を Fig. 12, 13

Table 7 Welding conditions and welded joint test results

Groove shape (Welding position)	Welding conditions						Welding layer	Welded joint tensile test		Welded joint V Charpy test		Application	
	Pass No.	Welding rod (dia·mm)	Current (A)	Voltage (V)	Speed (cm/min)	Heat input (kJ/cm)		T.S. (kgf/mm ²)	Fracture position	Weld metal vE ₋₁₀ (kgf·m)	HAZ vE ₋₁₀ (kgf·m)		
	1	KSA-86 4φ	180	26	10.5	26.5		63.5	Base metal	10.4 11.5 9.0 av. 10.3	7.6 15.9 7.4 av. 10.3	shell × nozzle base (mill welding)	
	2	KS-66L 4φ	200	25	11.3	26.7							
	3	KSA-86 4φ	210	27	13.3	25.5							
	4	KSA-86 4φ	210	26	13.6	24.1							
	1	KSA-86 3.2φ	110	25	5.3	31.2		64.8	Weld metal	8.1 7.8 9.3 av. 8.4	9.8 9.0 10.7 av. 9.8	shell × shell (field welding)	
	2	"	"	24	8.6	18.5							
	3	KSA-86 4φ	190	26	12.9	22.9							
	4	KS-66L 4φ	"	25	12.0	23.7							
	1	KSA-86 4φ	170	26	8.0	33.1		64.2	Base metal				"
	2	"	"	25	11.7	21.8							
	3	"	"	"	12.8	20.0				16.8 17.6 17.6 av. 17.3	7.1 7.2 8.1 av. 7.4		
	4	"	"	26	8.1	32.7							
	5	KS-66L 4φ	"	25	12.8	20.2							
	6	"	"	"	13.2	19.2							
	1	KSA-86 4φ	140	27	6.5	35.1		65.6	Base metal	9.3 9.0 8.1 av. 8.8	8.1 6.1 9.5 av. 7.9	"	
	2	"	"	26	6.7	32.4							
	3	KSA-86 3.2φ	110	25	6.0	27.5							
	4	KS-66L 3.2φ	"	24	9.2	17.2							

KSA-86 : Humidity restraint and low hydrogen welding rod for 60 kgf/mm² use. (JIS D 5816)
 KS-66L : Low hydrogen welding rod for mild steel use. (JIS D 4316)

Table 8 Chemical composition of welding electrode

(wt %)

Welding rod	C	Si	Mn	P	S	Mo	Standard	Application
KS66L	0.004	0.48	0.30	0.014	0.006	—	JIS D4316	Final layer
KSA86	0.07	0.45	1.35	0.013	0.008	0.25	JIS D5816	Other layers

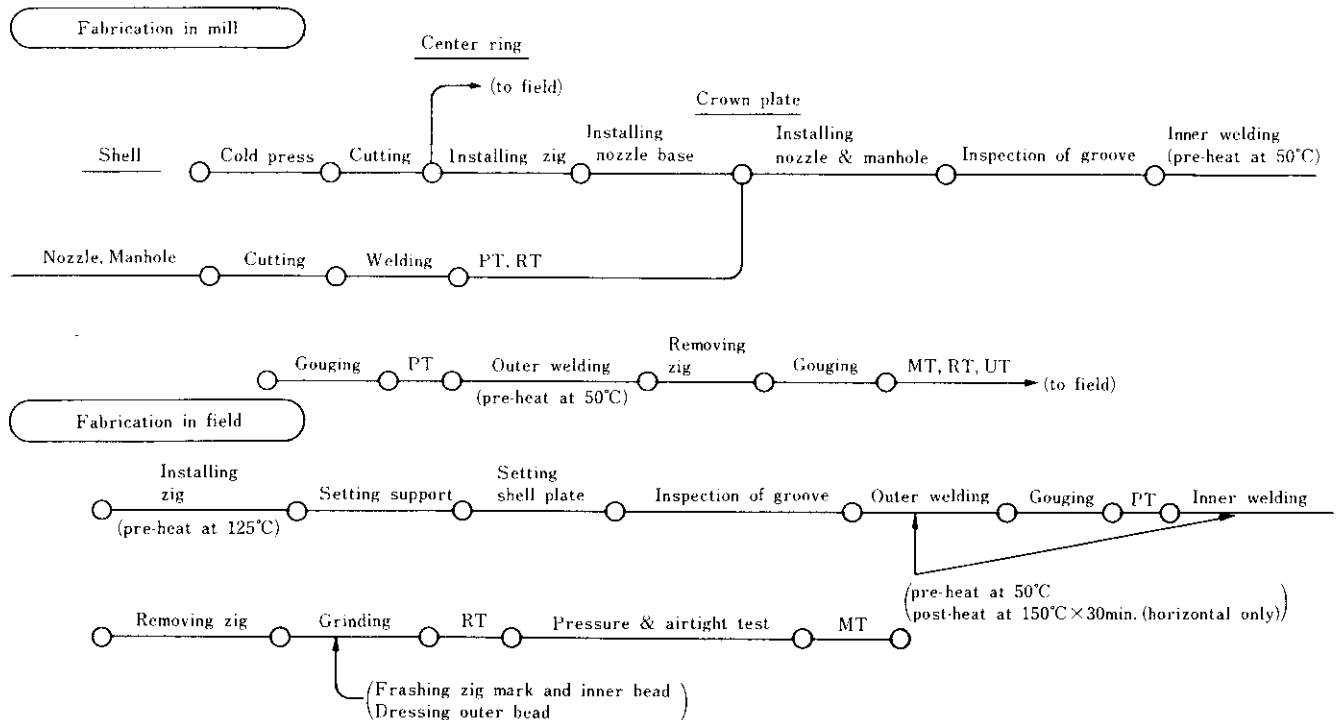


Fig. 6 Fabrication and setting procedure of a 10 t spherical ammonia tank

Table 9 Chemical composition of welding electrode used for softening surface of welded bead

(wt %)

Welding rod	C	Si	Mn	P	S	Standard	Application
KSA76	0.07	0.48	1.40	0.012	0.009	JIS D5016	Final layer
KT43	0.06	0.02	0.54	0.017	0.013	—	

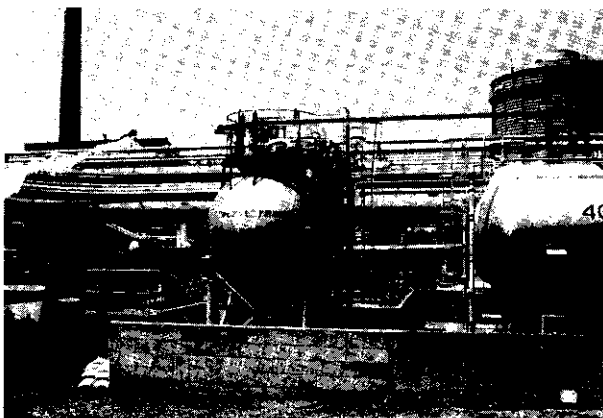


Photo. 1 10t spherical liquid ammonia tank

に、試験結果を Table 10 に示す。これらの試験結果から今回の実験タンクに用いた施工法の妥当性が立証され、しかも溶接金属の硬さが一部の継手で $H_v=200$ を超えるものでも割れが生じなかった点は注目に値する。この点については溶接金属の化学成分と液安 SCC の関係を調査したところ、O, S, Mn 量は影

響なく、Ni 量が増加すると液安 SCC 感受性が高まるとの研究結果⁷⁾にもとづき、Ni 無添加にしたことの結果と考えられる。

厚さ13mmの鋼板のクラウン部分に相当するプレス加工後の残材(マンホールの抜き板)を用いて促進試験を実施した。本試料より母材の四点支持曲げ3箇所の溶接継手試料とを選び促進試験を行った。試験片の形状、寸法を Fig. 14 に、試験結果を Table 11 に示す。以上の結果、加工後の残材の促進試験結果と実験タンクの開放検査結果がよく一致していることが明らかとなった。

5.2 実機タンク内での各種鋼材浸漬試験結果

タンクの稼動そのものが実際に液安 SCC を発生させる操業条件であったか否かの確認と、各種鋼材および溶接材の液安割れ感受性を調査する目的で、7種類の鋼板を準備した。これらの鋼材の鋼種、板厚、化学成分を Table 12 に、試験片の寸法形状を Fig. 15 に示す。溶接材は1パスビードオンプレート溶接を行い余盛削除したあとU字曲げて応力を負荷した。溶接棒は各種鋼に通常用いられる手溶接棒を用い入熱は 5 kJ/cm の小入熱にして液安 SCC 感受性を高めた。試料は Fig. 16 に示す治具

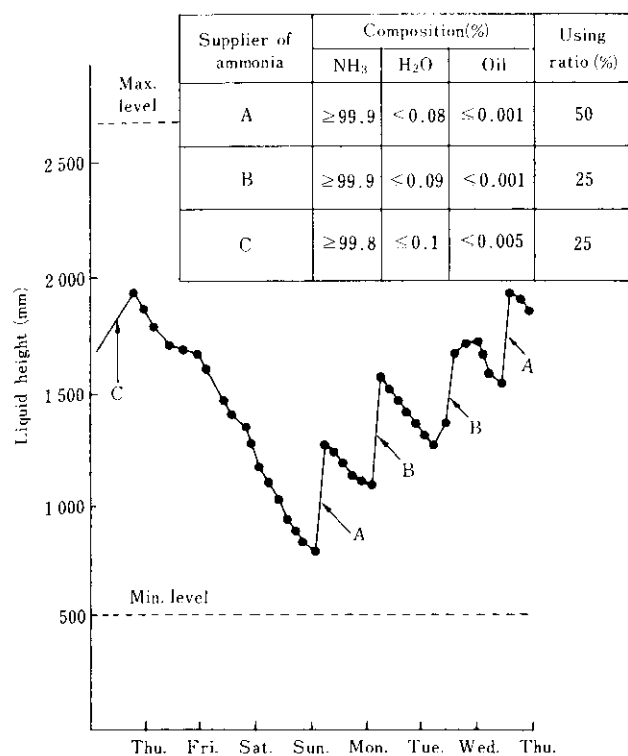


Fig. 7 Typical changing pattern of liquid height in the tank

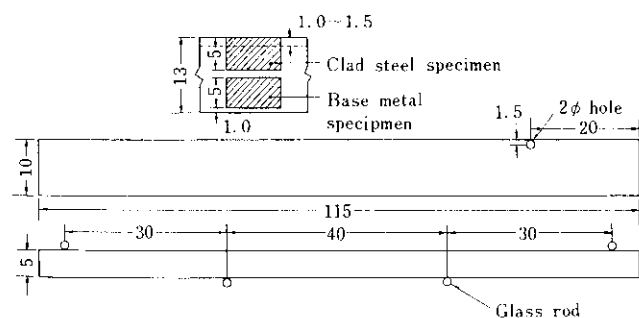


Fig. 8 Tested location and geometry of test specimen of clad plate before press

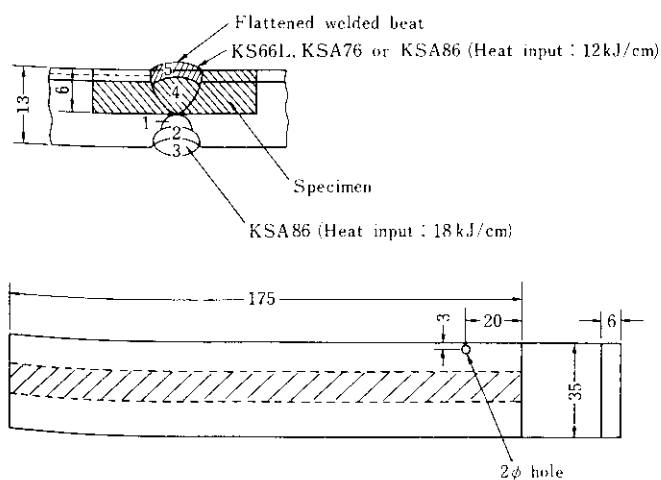


Fig. 9 Test locations and geometries of test specimens of welded joint

に取り付けタンク内に浸漬し、繰返し数6で試験を行った。

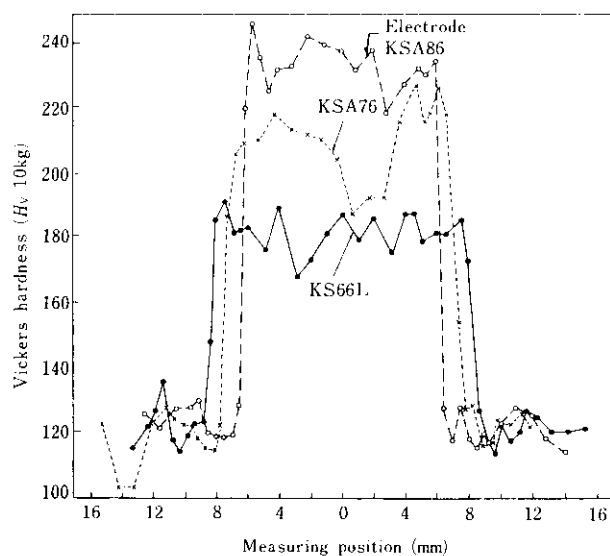


Fig. 10 Surface hardness distribution of ER clad welded specimens

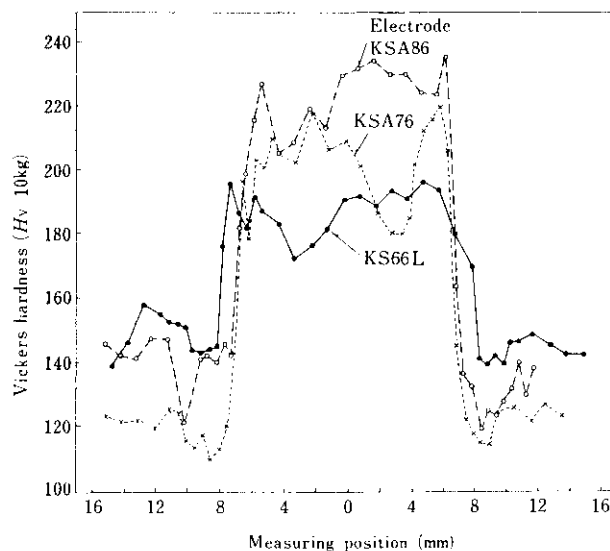


Fig. 11 Surface hardness distribution of WR clad welded specimens

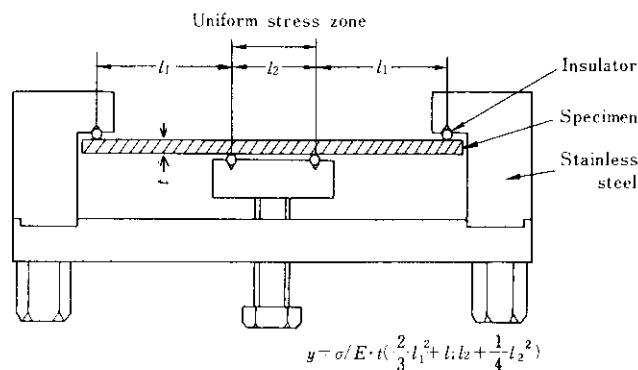


Fig. 12 Four-point bending jig

1年間浸漬後開放検査時にU字曲げ試料の割れも同時に確認した。その結果をTable 13に示す。80kgf/mm²鋼は母材ですでに割れが発生し、60kgf/mm²鋼と50kgf/mm²鋼の溶接材も

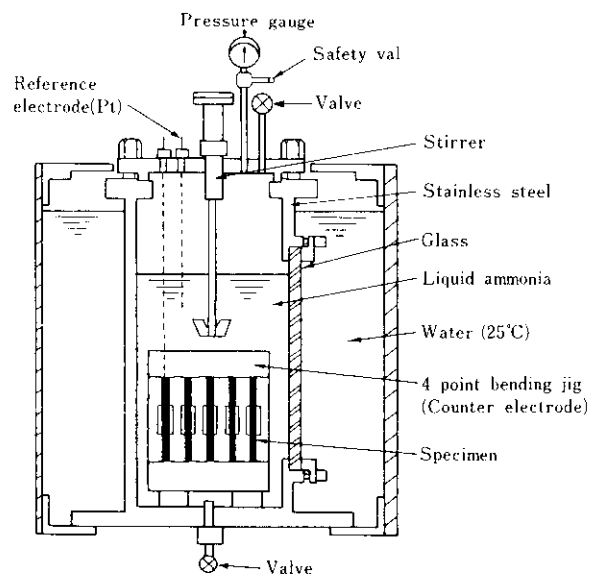


Fig. 13 Apparatus for SCC test in liquid ammonia

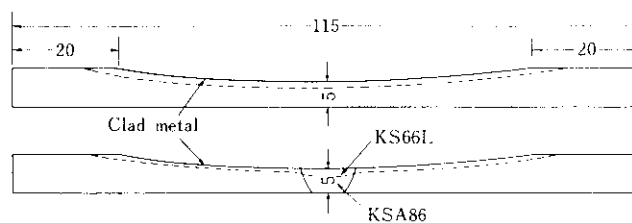


Fig. 14 Geometry of test specimen of clad plate after press

HAZに割れが発生する。一方、表面軟化クラッド鋼ではまったく割れは発生していない。

以上の結果実際の操作条件は、通常の液安SCCが起りやすい条件下に維持されていたこと、および表面軟化クラッド鋼の優位性が確認された。

6. 結 言

当社に設置した液体アンモニア実機タンクに表面軟化クラッ

Table 10 Laboratory test results for stress corrosion cracking of clad plates before press in liquid ammonia (Shell plate, $t: 13\text{mm}$)

Specimen		Applied stress* (kgf/mm^2)									
		10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
ER clad	Clad steel	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	Base metal	○	○	●	●	●	●	●	●	●	●
WR clad	Clad steel	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	Base metal	○	○	●	●	●	●	●	●	●	●
Welded specimen of ER clad	KS66L	—	—	—	—	○	—	—	—	—	—
	KSA76	—	—	—	—	○	—	—	—	—	—
	KSA86	—	—	—	—	○	—	—	—	—	—
Welded specimen of WR clad	KS66L	—	—	—	—	○	—	—	—	—	—
	KSA76	—	—	—	—	○	—	—	—	—	—
	KSA86	—	—	—	—	○	—	—	—	—	—

○ No cracking, ● Cracking
* Calculated value

Table 11 Laboratory test results of stress corrosion cracking of clad plates after press in liquid ammonia (Shell plate, $t: 13\text{mm}$)

Specimen		Applied stress* (kgf/mm^2)									
		10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
ER-clad		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Welded specimen	Location** A	—	—	—	—	○	—	—	—	—	—
	B	—	—	—	—	○	—	—	—	—	—
	C	—	—	—	—	○	—	—	—	—	—

* Calculated value

**

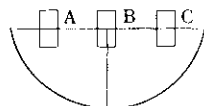


Table 12 Chemical composition and thickness of plates for stress corrosion cracking test in liquid ammonia tank (wt %)

No.	Steel	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	V	B	Nb	Thickness
1	ACE80	0.09	0.30	0.91	0.014	0.003	0.26	0.87	0.50	0.391	0.034	0.0011	—	38mm
2	ACE62A	0.08	0.29	1.38	0.018	0.004	—	—	—	0.148	0.037	0.0012	—	24
3	SLA33A	0.09	0.40	1.60	0.016	0.004	0.11	0.31	0.05	—	0.027	—	—	30
4	SLA33B	0.06	0.25	1.41	0.019	0.005	—	—	—	—	—	—	—	30
5	WR clad	Clad steel 0.04	Tr	0.22	0.012	0.013	—	—	—	—	—	—	—	13
6	ER clad	Clad steel 0.04	Tr	0.30	0.015	0.013	—	—	—	—	—	—	—	13
7	Control-rolled HT50	0.08	0.25	1.45	0.005	0.002	0.20	0.14	—	—	—	—	0.029	25

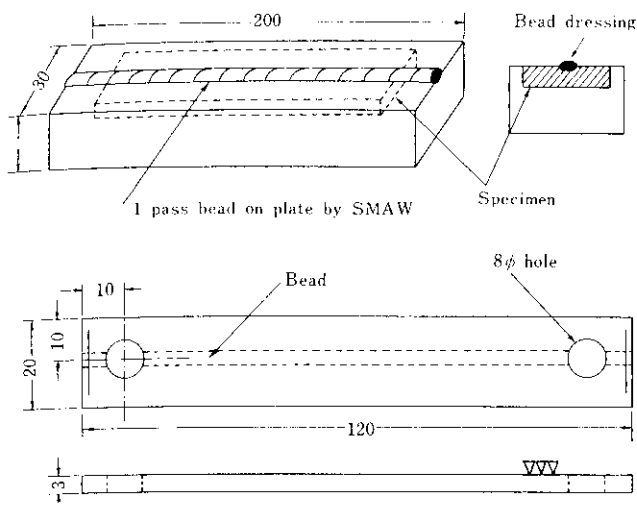


Fig. 15 Method of welding and geometry of welded specimen for U-bend stress corrosion cracking test

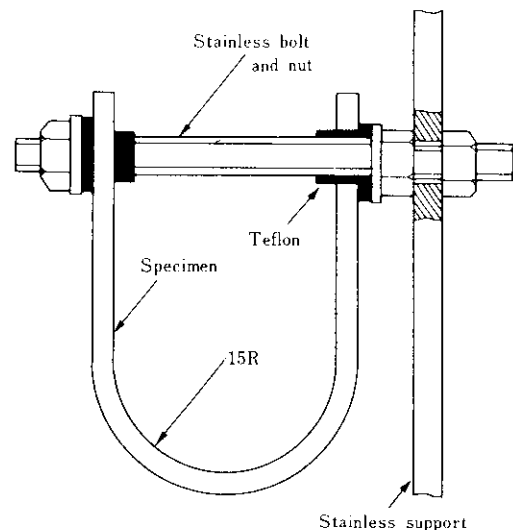


Fig. 16 Method of applying stress to a specimen and its support

Table 13 Stress corrosion cracking test results of different steel plates and welded joints in liquid ammonia tank

		Base plate	Welded joint		
			Ordinary electrode	TIG	KSA76
1	ACE80	● ● ●	● ● ●		
2	ACE62A	● ○ ○	● ● ●		
3	SLA33A	○ ○ ○	● ● ●	● ● ●	
4	SLA33B	○ ○ ○	● ● ●		
5	WR clad	○ ○ ○	○ ○ ○	○ ○ ○	○ ○ ○
6	ER clad	○ ○ ○	○ ○ ○	○ ○ ○	○ ○ ○
7	Control-rolled HT50	○ ○ ○	● ● ●	● ● ●	

○ No cracking, ● Cracking

ド鋼板を採用し、液安 SCC の感受性を調査した。その結果およびそれに付随して行った小型試験結果をまとめると下記のとおりである。

- (1) 表面軟化クラッド鋼の製造法として鋳込圧延法と肉盛圧延法があるが、性能上まったく差がなかった。
- (2) 実験タンクの操業条件は、液安割れの発生しやすい通常の条件下に維持されていたにもかかわらず、開放検査で無欠陥であった。
- (3) 軟鋼部の液安 SCC に対する必要厚さは 1 mm で十分であることが確認された。

(4) 高張力鋼用溶接金属に対して、軟鋼溶接金属による軟層処理は有効である。

(5) 液安割れ防止のための PWHT は、当鋼板においては必要ない。

以上、表面軟化クラッド鋼板は耐液安割れ鋼板として優れていることが確認されたが、さらに今後 LPG タンク等の耐硫化物応力腐食割れ鋼としても適用しうるか否かについて検討してゆく予定である。

なお、本研究の実施に際し川崎重工業㈱の御協力をいただいたことに対して、謝意を表します。

参 考 文 献

- 1) 高圧ガス保安協会：高張力鋼使用基準，(1980.6)，12
- 2) 中井揚一，上杉康治，倉橋速生：液体アンモニア中における応力腐食割れ促進試験法の開発，鉄と鋼，67 (1981)，154～161
- 3) 中井揚一，上杉康治，倉橋速生：液体アンモニア中における鋼の応力腐食割れ機構，鉄と鋼，67 (1981)，162～169
- 4) 奥村健人，中井揚一，元田邦昭，小林邦彦：鋳込圧延クラッド鋼，圧力技術，19 (1981)，6，45
- 5) 高圧ガス保安協会：高圧ガス取締法規集，(1981.4.10)，674
- 6) *ibid.*，810～815
- 7) 平井ほか：溶接学会全国大会講演概要(第31集)，(1982)，232