
中・常温圧力容器用 350℃ 降伏強さ 25kg/mm² 保証鋼

Steel Plate for Pressure Vessels Having Yield Strength over 25kg/mm² at 350℃

森 裕(Hiroshi Mori) 大橋 延夫(Nobuo Ohashi) 鎌田 晃郎(Akio Kamada) 千貫 昌一(Masakazu Sengan) 西山 昇(Noboru Nishiyama) 石川 正明(Masaaki Ishikawa) 久世 富士夫(Fujio Kuze)

要旨：

中・常温圧力容器用鋼として、350℃での降伏強さが 25kg/mm² 以上ある KHY25 鋼を開発し、板厚 75mm 鋼板についてその機械的性質、加工性、溶接性などについて試験を行った。その結果 KHY25 鋼は焼ならしの状態でファブリーケートすることが可能であり、応力除去熱処理後の強度、延性、靱性は優れていることが判った。

Synopsis：

KHY25 steel having yield strength over 25kg/mm² at 350℃ has been developed for pressure vessels used at intermediate and moderate temperatures. Its mechanical properties, workability, weldability and others have been examined on a 75 mm thick sample. Test results show that KHY25 steel can be fabricated in the normalized condition and its strength, ductility and toughness are excellent after stress relieving heat treatment.

(c)JFE Steel Corporation, 2003

本文は次のページから閲覧できます。

中・常温圧力容器用350℃降伏強さ25kg/mm²保証鋼Steel Plate for Pressure Vessels Having Yield Strength over 25 kg/mm² at 350°C森 裕*
Hiroshi Mori大 橋 延 夫**
Nobuo Ohashi鎌 田 晃 郎***
Akio Kamada千 貫 昌 一****
Masakazu Sengan西 山 昇*****
Noboru Nishiyama石 川 正 明*****
Masaaki Ishikawa久 世 富士夫*****
Fujio Kuze

Synopsis:

KHY25 steel having yield strength over 25 kg/mm² at 350°C has been developed for pressure vessels used at intermediate and moderate temperatures.

Its mechanical properties, workability, weldability and others have been examined on a 75 mm thick sample. Test results show that KHY25 steel can be fabricated in the normalized condition and its strength, ductility and toughness are excellent after stress relieving heat treatment.

1. 緒 言

わが国の圧力容器に関する法令および規格は米国のASME "Boiler and Pressure Vessel Code" Sec. VIII Div. 1 を基本とし、中・常温域における安全率を降伏強さに対して1.6、引張強さに対し4としているため高応力設計ができず、圧力容器の大型化に伴い、使用鋼材はますます厚肉化しているのが実情である。

一方、欧州とくにドイツでは降伏強さ基準の設計に豊富な実績をもち、安全率を降伏強さに対してのみ1.5とする高応力設計が行われている。またISOも圧力容器規格の国際標準化を図り、原案

DIS2694 "Pressure Vessels" を作成したが、この際安全率としては常温における引張強さに対して2.4、設計温度における降伏強さに対して1.5を採用した。

このような状況においてわが国でも高応力設計の必要性が高まってきたため、日本工業標準調査会内の圧力容器専門委員会においてISOの基準案を取入れた特定圧力容器規格を制定するため審議が進められている。またこの新しい設計基準に対応した新鋼材、すなわち中・常温域における降伏強さが高く、しかもそれが保証されている鋼材の開発が切望されてきた。そこで日本溶接協会はこのような新鋼材を同協会規格として制定するべく「中・常温圧力容器用鋼材規格作成委員会(略称:

* 技術本部鋼材技術部部长
*** 技術研究所厚板研究室室長
***** 技術研究所溶接研究室主任研究員
***** 千葉製鉄所管理部検査課部長

** 技術研究所次長
**** 千葉製鉄所管理部厚板管理課部長
***** 技術研究所厚板研究室主任研究員

[昭和54年6月28日原稿受付]

PMS 委員会)を設置して審議を進め、昭和52年12月に中・常温圧力容器用高強度鋼板規格および鍛鋼品規格が制定された¹⁾。

当社ではPMS 委員会設置に先立ち、靱性、溶接性、加工性および経済性に優れた高強度鋼を開発するために、まず実験室溶解の小型鋼塊を用いて高温強度に及ぼす種々の合金元素の影響を系統的に調べ^{2,3)}、その結果に基づき日本溶接協会規格のPMS 35およびPMS 25 (350℃における降伏強さ35および25kg/mm²保証鋼)に相当する鋼板としてそれぞれ複合析出硬化作用を利用したMo-V-Nb鋼(KHY35)およびMo-V鋼(KHY25)を工場試作した。この試作に当たっては千葉大学工学部瀬戸口英善教授を委員長とするHTY 委員会*を組織し、これらの鋼板の実用性能を確認するため、種々の共同研究を行った。

前報⁴⁾でKHY35については詳述したので本報ではHTY 委員会で得られたKHY25に関する研究結果⁵⁾のうち、当社で行った母材の機械的性質、加工性、溶接性などの試験結果を主体にとりまとめた。

2. 鋼板の製造

当社の350℃降伏強さ25kg/mm²保証鋼(仮称

KHY25)の化学成分および機械的性質の暫定規格をTable 1およびTable 2に示す。この規格はPMS 25の規格と同一である。

Table 2に示す機械的性質を目標としてTable 3に示す化学成分をもつ板厚75mmの鋼板を85tLD転がし→RH脱ガス→下注造塊→分塊圧延→厚板圧延工程により製造し、880℃×75minの焼ならし処理を施した。

Table 1 Provisional specification of chemical composition of KHY25 steel (wt %)

C	Si	Mn	P	S	Cu	Mo	Nb	V
≤0.20	0.15 ~0.60	0.80 ~1.60	≤0.035	≤0.035	≤0.35	≤0.35	≤0.05	≤0.10

Ni, Cr, etc. may be added singly or in combination as required

3. 鋼板の性能

3.1 母材特性

3.1.1 機械的性質

焼ならしを施した鋼板より試験片を切り出し、

Table 2 Provisional specification of mechanical properties of KHY25 steel

Tensile properties at R.T.							Impact properties	
Y.S. (kg/mm ²)				T.S. (kg/mm ²)			El. (%) $L_0=5d_0$	ISO-V 0°C (kg.m)
thickness (mm)				thickness (mm)				
≤50	>50 ≤100	>100 ≤125	>125 ≤150	≤100	>100 ≤125	>125 ≤150		
≥38	≥36	≥35	≥34	52~66	51~65	50~64	≥20	≥3.2
Y.S. (kg/mm ²) at elevated temperatures**								
100°C	150°C	200°C	250°C	300°C	350°C	400°C		
≥34*	≥32*	≥30*	≥28*	≥26*	≥25*	>23*		

* The data are applied to products with thicknesses less than or equal to 100mm. For products with thicknesses over 100 up to 125mm, the Y.S. values should be reduced by 1kg/mm², and for thicknesses over 125 up to 150mm by 2kg/mm².

** High temperature tensile tests are carried out at indicated one of temperatures shown in the table, when required by the order.

- HTY 委員会構成：石川島播磨重工業㈱、大阪鉄鉛機械㈱、東洋エンジニアリング㈱、バブコック日立㈱、日立造船㈱、(株)北海鉄工所、三井造船㈱ 以上50音順、川崎製鉄㈱

Table 3 Chemical compositions of an industrial test heat (wt %)

Sample	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Mo	V	Al	Ceq ¹⁾
Ladle	0.16	0.39	1.42	0.020	0.008	0.18	0.18	0.153	0.069	0.024	0.47
Check	0.15	0.38	1.43	0.018	0.008	0.18	0.17	0.137	0.076	0.026	0.45

$$1) C_{eq} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Si}{24} + \frac{Ni}{40} + \frac{Cr}{5} + \frac{Mo}{4} + \frac{V}{14} (\%)$$

600°C×450min → 炉冷の S. R. を行った後、常温および高温引張試験、曲げ試験、衝撃試験、NRL 落重試験を行った。

(1) 常温および高温引張試験

常温引張試験の結果を Table 4 に示し、試験温度による引張特性の変化を Fig. 1 に示す常温および高温のいずれにおいても規格を十分満足する

Table 4 Tensile properties at room temperature

Heat treatment	Orientation	Location	Y.S. (kg/mm ²)	T.S. (kg/mm ²)	El. (%)	Y.R. (%)	R.A. (%)
N+S.R.	L	1/4t	38.7	54.4	31	71	71
			39.5	54.7	31	72	69
	T	1/4t	39.1	54.4	31	72	68
			39.4	54.9	31	72	71

1) S.R.: 600°C×450min → F. C.

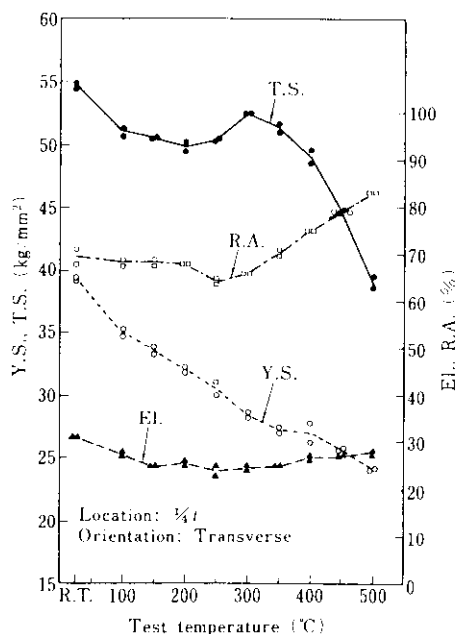


Fig. 1 Results of tensile tests at elevated temperature (S.R.: 600°C×450min → F.C.)

良好な引張特性を示している。

(2) 曲げ試験

圧延方向に平行および直角方向試片について、表曲げ試験 ($R=1.5t$, 180°) および側曲げ試験 ($t=9\text{mm}$, $R=2t$, 180°) を行った。結果はいずれも良好であり、十分な曲げ延性を示した。

(3) 衝撃試験

試験結果を Fig. 2 に示す。いずれの板厚内位置およびいずれの方向についても規格を十分満足する良好な靱性を示している。

(4) NRL 落重試験

試験は日本溶接協会鋼種認定方法にしたがい、1種試験片を用いて行った。試験条件を Table 5 に、試験結果を Table 6 に示す。

3-1-2 冶金的性質

光学顕微鏡組織はいずれの板厚内位置において

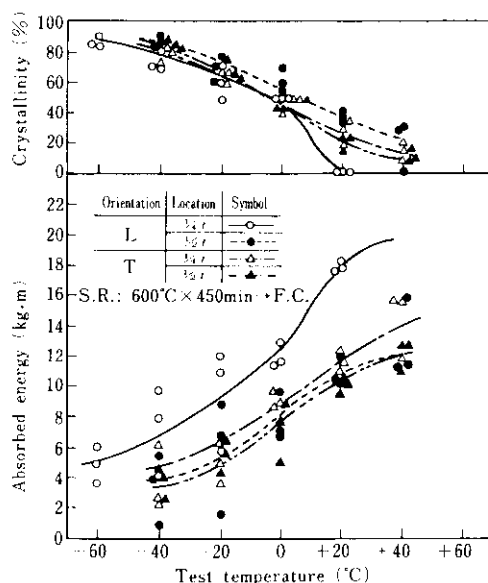


Fig. 2 Results of 2mm V-notch Charpy impact tests

Table 5 Drop-weight test conditions

Specimen size (mm)	Span (mm)	Deflection stop (mm)	Drop weight energy (kg·m)
25 hy 90 hy 360	305	7.6	110.4

Table 6 Results of drop weight tests

Heat treatment	Test temperature (°C)	Results of test (○ Not broken, ● Broken)		
N + S.R. ^D	-10	○	○	○
	-15	○	○	○
	-20	●	◐	○
NDTT: 20°C				

1) S.R.: 600°C×450min→F.C.

も微細なフェライト+パーライト+ベイナイトの混合組織を示す。代表例を **Photo. 1** に示す。

板厚 $\frac{1}{4}t$ 部について JIS G 0551 の浸炭法で求めたオーステナイト結晶粒を **Photo. 2** に示す。オーステナイト粒度番号は 10 である。

3-2 加工性

(1) 応力除去焼鈍(S. R. 処理)による材質変化

焼ならしのままの鋼板を用いて、機械的性質に及ぼす S.R. 処理温度の影響を **Fig. 3** および **Fig. 4** に示す。580°C ~ 620°C の S.R. 処理により、常温および 350°C のいずれにおいても Y. S. はほとんど変化しないが、T. S. は S.R. 温度の上昇とともにやや低下する。一方靱性は S.R. 処理により

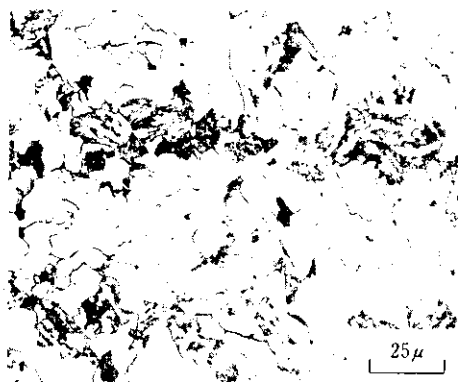


Photo. 1 Optical micrograph
(N→S.R., location: $\frac{1}{4}t$)

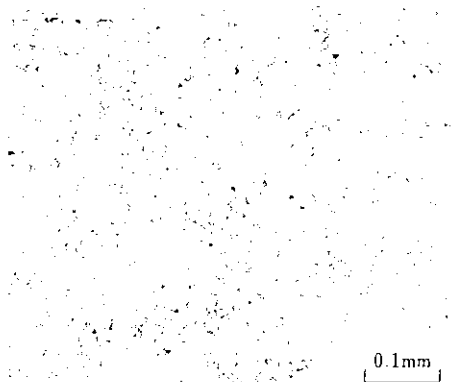


Photo. 2 Optical micrograph showing austenite grain structure (Location: $\frac{1}{4}t$)

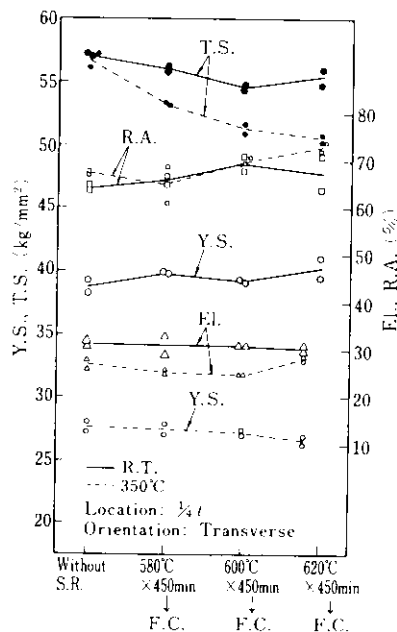


Fig. 3 Variation in tensile properties at room temperature and 350°C by stress-relieving treatments with various conditions

向上するが、S.R. 温度による差は少ない。いずれにしても 580°C ~ 620°C の S.R. 処理を施しても規格を十分満足する良好な引張特性と高靱性が得られることを示している。

(2) 垂時効試験

5%の引張歪+250°C×60minの垂時効およびさらに S.R. 処理を施した試片の 2mmV シャルピー衝撃試験の結果を **Table 7** に示す。垂時効により靱性はやや劣化するが $\sqrt{E_0}$ は規格を満足している。

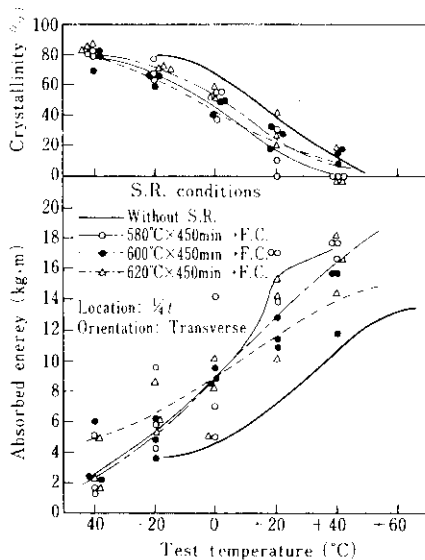


Fig. 4 Results of 2mm V-notch Charpy tests after stress relieving treatment

Table 7 Variation in 2mm V-notch Charpy impact properties by strain-aging treatments

Specimen	$\nu E_{+20}^{3)}$ (kg·m)	$\nu E_0^{3)}$ (kg·m)	νTrs (°C)
Base plate → S.R. ¹⁾	11.4	9.1	5
Strain aging ²⁾	8.2	4.8	+8
Strain aging ²⁾ → S.R. ¹⁾	10.4	8.2	+2

1) 600°C×450min + F.C.

2) 5% strained → 250°C×60min aging

3) Average for three specimens

Location: 1/4t, Orientation: Transverse

歪時効後 S.R. 処理を行うと靱性は回復し、焼ならし後 S.R. 処理を行った場合と同程度の高靱性を示す。

(3) 熱間加工性

焼ならし後の鋼板より切り出した試験片を 800℃～1000℃の各温度に加熱保持(保持時間: 75min)した後 700℃～900℃の各温度で 10%の圧下を圧延により与える熱間加工を行い、その後 S.R. 処理または焼ならし + S.R. 処理を行ってその材質変化を調べた。結果を Fig. 5 および Fig. 6 に示す。熱間加工における加熱温度および加工温度を広範囲に変化させても、加工 + S.R. 後あるいは加工 + 焼ならし + S.R. 後の引張特性および靱性はいずれの場合も規格を十分満足しており、優れた熱間加

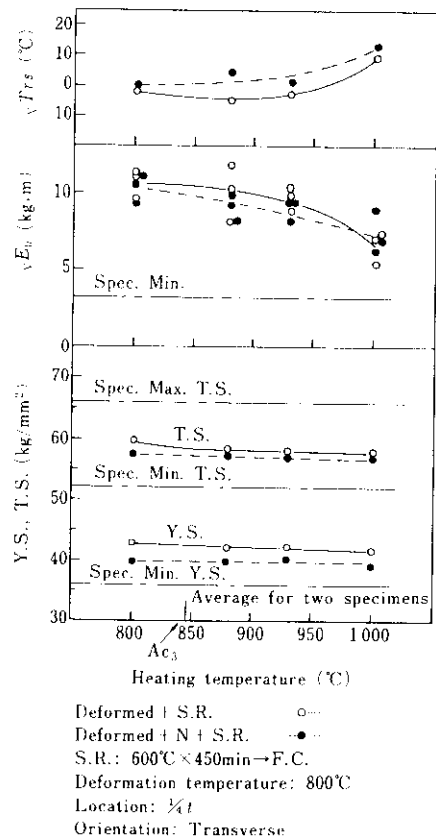


Fig. 5 Effect of heating temperature for hot-forming on tensile and impact properties

工性をもつ鋼板であることを示している。

3.3 溶接性

溶接割れ感受性を Y 開先拘束割れ試験により調べた。その結果を Fig. 7 に示す。ルート割れ阻止温度は 125℃であり、この種鋼材として十分低い溶接割れ感受性を示している。

溶接部の応力除去焼鈍時の割れ感受性を明らかにするため、Fig. 8 に示す再熱割れ試験を行った。その結果は Table 8 に示すように、歪付加ビード 80 パスにおいても表面および断面割れは全くなく、再熱割れ感受性はきわめて低いといえる。

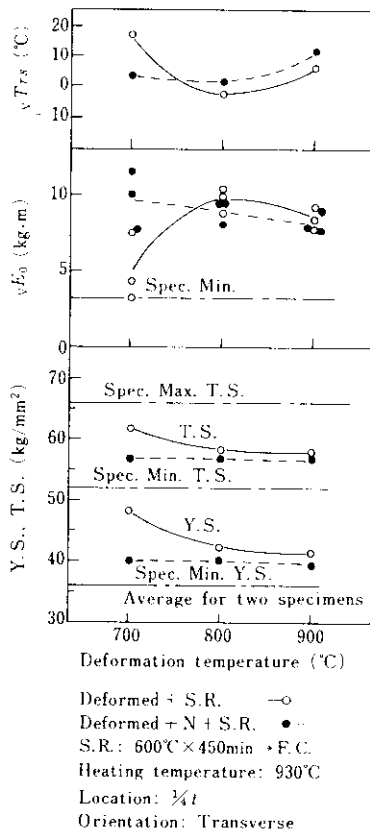


Fig. 6 Effect of deformation temperature for hot-forming on tensile and impact properties

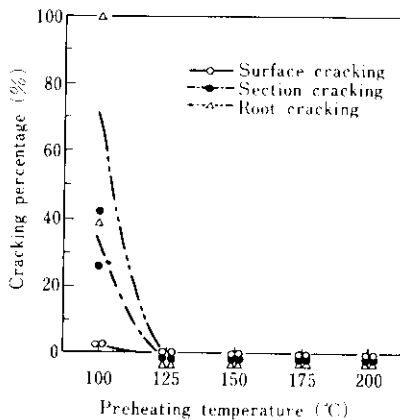


Fig. 7 Results of Y groove restraint cracking tests

3-4 溶接継手性能

Table 9 に示す溶接条件で被覆アーク溶接継手

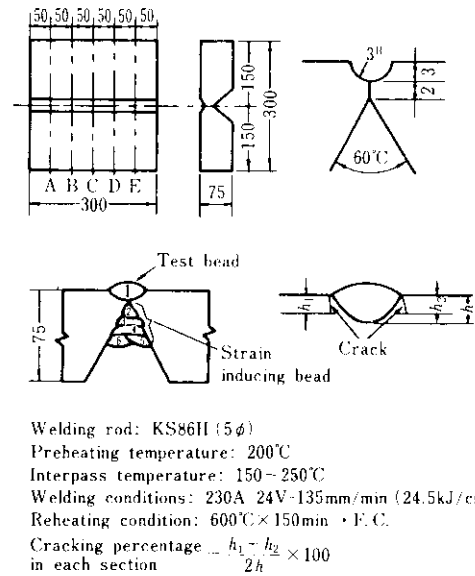


Fig. 8 Specimen and conditions for reheat cracking tests

Table 8 Results of reheat cracking tests

Number of strain inducing beads	Cracking percentage on the surface			Cracking percentage in section after reheating				
	Before straining	After straining	After reheating	Section in Fig. 8				
				A	B	C	D	E
40	0	0	0	0	0	0	0	0
80	0	0	0	0	0	0	0	0

および入熱量の異なる 2 種類のサブマージアーク溶接継手を製作し、引張り、曲げ、衝撃、硬さなどの特性を調べた。

(1) 常温および高温引張試験

常温引張試験は ISO 規格による全厚引張試験片を用い、350°C における引張試験は板厚 $\frac{1}{4}t$ から採取したボンドを平行部中央とする 10mm ϕ 断面、平行部 50mm の突起付引張試験片を用いて行った。結果を Table 10 に示す。破断位置はすべて母材部であり、いずれの場合も常温における T.S. の母材規格を満足し、350°C における Y.S. の保証値を十分に上回る引張特性を示している。

(2) 曲げ試験

溶接のままおよび S.R. 処理を施した状態で行った側曲げ試験ならびに S.R. 処理を施した状態で行った表曲げ試験(自由曲げ)の結果はいずれも良好

Table 9 Welding conditions

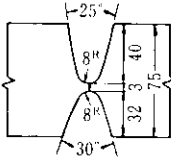
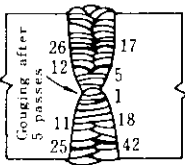
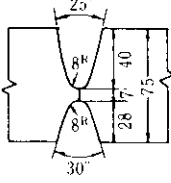
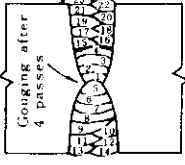
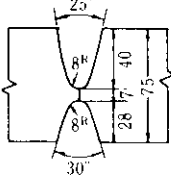
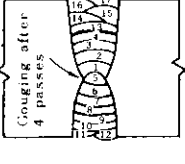
Welding method	Welding rod, wire and flux	Groove design	Pass No.	Diameter of wire (mm)	Welding current (A)	Arc voltage (V)	Welding speed (cm/min)	Heat input (kJ/cm)	Preheating and inter pass temp. (°C)	Welding pass sequence
Covered electrode arc welding	KS86H		1	4	170	24	15	16.3	150	
			2~45	5	230	24	13.5	24.3	150~200	
Submerged arc welding	KW101B × KB80C		1	4.8	520	28	20	43.7	150	
			2~23	4.8	650	32	28	44.6	150~200	
Submerged arc welding	KW101B × KB80C		1	4.8	520	28	20	43.7	150	
			2~17	4.8	800	32	25.5	60.6	150~200	

Table 10 Results of tensile tests of welded joints

Welding	Heat treatment	Room temperature (ISO-specimen)	350°C (JIS-G0567)			
		T.S. ²⁾ (kg/mm ²)	Y.S. ²⁾ (kg/mm ²)	T.S. ²⁾ (kg/mm ²)	El. ²⁾ (%)	R.A. ²⁾ (%)
Covered electrode arc welding (24.3kJ/cm)	As welded	62.5	42.0	59.5	18	69
	S.R. ¹⁾	61.2	36.5	54.4	17	67
Submerged arc welding (44.6kJ/cm)	As welded	62.9	38.6	57.7	19	72
	S.R. ¹⁾	61.5	33.7	52.3	18	72
Submerged arc welding (60.6kJ/cm)	As welded	62.7	38.7	60.0	19	69
	S.R. ¹⁾	61.5	37.8	54.3	19	69

1) S.R.: 600°C×450min + F.C.

2) Average for two specimens

であり、3種類の溶接継手とも良好な曲げ延性を示した。

(3) 衝撃試験

板厚 $\frac{1}{4}t$ 部および $\frac{1}{2}t$ 部における溶接金属、ボンドおよび熱影響部中央の2mmVシャルピー衝撃試

験の結果をTable 11に示す。いずれの溶接継手の場合も、溶接のままおよびS.R.処理を施した状態で優れた靱性を示し、 vE_0 はいずれも母材の規格値($\geq 3.2\text{kg}\cdot\text{m}$)を十分に満足する高い値を示している。

Table 11 Results of 2mm V notch Charpy impact tests of welded joints

Welding	Testing position	As welded		S.R. ¹⁾		
		$\sqrt{E_0^{21}}$ (kg·m)	T_{rs} (°C)	$\sqrt{E_0^{21}}$ (kg·m)	T_{rs} (°C)	
Covered electrode arc welding (24.3kJ/cm)	W.M.	$\frac{1}{4}t$	13.2	-22	13.1	-9
		$\frac{1}{2}t$	7.8	4	5.4	+13
	Bond	$\frac{1}{4}t$	16.6	-40	14.3	-17
		$\frac{1}{2}t$	12.7	-23	5.3	-3
	HAZ	$\frac{1}{4}t$	13.7	-43	13.6	-14
		$\frac{1}{2}t$	9.2	-25	9.8	-13
Submerged arc welding (44.6kJ/cm)	W.M.	$\frac{1}{4}t$	19.1	< -40	18.4	< -40
		$\frac{1}{2}t$	19.6	-45	10.3	-10
	Bond	$\frac{1}{4}t$	19.2	< -40	17.5	-25
		$\frac{1}{2}t$	17.2	< -40	6.0	+3
	HAZ	$\frac{1}{4}t$	16.0	44	17.7	-28
		$\frac{1}{2}t$	10.5	-6	5.9	-2
Submerged arc welding (60.6kJ/cm)	W.M.	$\frac{1}{4}t$	18.2	< -40	17.3	-42
		$\frac{1}{2}t$	17.1	< 40	9.6	11
	Bond	$\frac{1}{4}t$	15.5	-40	12.2	-14
		$\frac{1}{2}t$	5.6	+1	7.7	-4
	HAZ	$\frac{1}{4}t$	15.9	-33	14.0	-23
		$\frac{1}{2}t$	11.4	-18	6.4	-2

1) S.R.: 600°C×450min → F.C.

2) Average for three specimens; Specimen orientation: Transverse

(4) 断面硬さ試験

溶接継手部横断面の鋼板表面から 2mm、 $\frac{1}{4}t$ 部、 $\frac{1}{2}t$ 部、 $\frac{3}{4}t$ 部および裏面から 2mm の位置について板面に平行にビッカース硬さを測定した。いずれの溶接継手の場合も、同じ板厚内位置では熱影響部の硬さが最も高く、板厚方向位置で比べると硬さは表面または裏面から 2mm の位置、すなわち溶接最終層の熱影響部が最も高くなる。各溶接継手の硬さの最高値を Table 12 に示す。S.R. 後の硬さの最高値はそれぞれ H_V262 、 H_V248 、 H_V242 の十分低い値を示す。

3.5 破壊靱性

脆性破壊に対する安全性を確認するため、3点曲げ試験により母材およびサブマージアーク溶接

Table 12 Maximum Vicker's hardness of welded joints ($H_V(10)$)

Welding	As welded	S.R. ¹⁾
Covered electrode arc welding (24.3kJ/cm)	342	262
Submerged arc welding (44.6kJ/cm)	254	248
Submerged arc welding (60.6kJ/cm)	242	242

1) S.R.: 600°C×450min → F.C.

継手ボンド部の破壊靱性値を測定した。試験片の形状を Fig. 9 に、サブマージアーク溶接条件を Table 13 に示す。試験片は母材および溶接継手とも機械加工に先立ち 600°C×450min → 炉冷の S.R. 処理を行った。破壊靱性値 K_{IC} 値は ASTM E399 に基づき、 $a, B, W, a \geq 2.5 (K_Q/\sigma_Y)^2$ の条件を満足する場合、 K_Q に等しいとして求めた。なおここにおいて B, W, a はそれぞれ試験片厚さ、試験片幅、亀裂長さである。上記条件を満足しない場合は J 積分値を利用する方法⁴⁾により K_{IC} 値を求めた。求められた K_{IC} 値の滑度依存性を Fig. 10 に示す。この K_{IC} 値を用いて半楕円表面欠陥が存在する場合の欠陥寸法と限界許容応力の関係を計算した結果を Fig. 11 に示す。 $a = 18.75\text{mm}$ は ASME Code Sec. III に規定されている最大仮想欠陥寸法に相当するものである。この欠陥寸法は ASME Code Sec. III の放射線検査の標準値と比べると面積で 150 倍、Sec. XI の超音波探傷試験のそれに比べると面積で 10 倍の大きさを有するもので、きわめて安全側の評価を与えるものである。

Fig. 11 から明らかなように常温における保証降伏

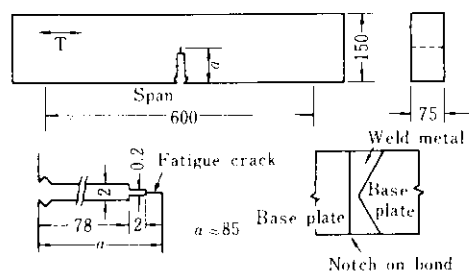
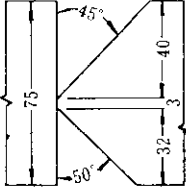
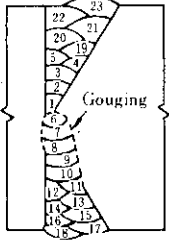
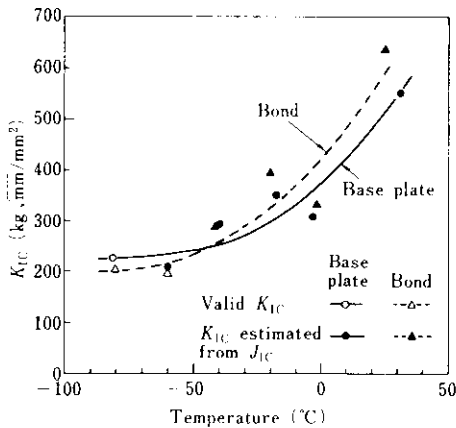


Fig. 9 Three point bend specimen

Table 13 Welding conditions for three point bend test specimens

Welding method	Welding wire and flux	Pass No.	Diameter of wire (mm)	Welding current (A)	Arc voltage (V)	Welding speed (cm/min)	Heat input (kJ/cm)	Preheating and interpass temp. (°C)	Groove design	Welding pass sequence
Submerged arc welding	KW101B × KB80C	1	4.8	520	28	20	44	150		
		2~23	4.8	600	32	25	45	204		

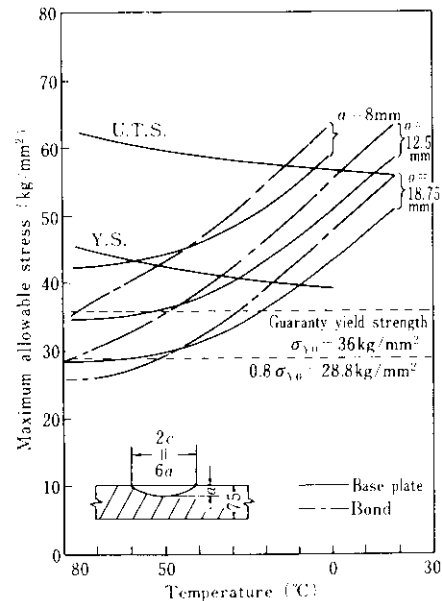
Fig. 10 Temperature dependence of K_{IC} value

応力(36kg/mm²)の80%で水圧試験を実施⁶⁾したとしても18.75mm深さの表面欠陥に対する脆性破壊発生温度は、母材については-60℃、溶接ボンドについては-50℃であり、通常の試験温度(常温)から考えて十分安全側にある。

3-6 疲労特性

高応力設計のプラントの寿命を考慮して、母材および被覆アーク溶接継手の常温ならびに350℃における低サイクル疲労特性を調べた。溶接継手の製作条件をTable 14に、試験片形状をFig. 12に示す。試験片は原則として10mmφ平行部付とし、室温での高いひずみ範囲に対しては一部砂時計型も用いた。試験片の採取は板厚 $\frac{1}{4}t$ 部、C方向であり、溶接継手の場合は溶接方向に直角で、平行部が溶接金属になるようにした。

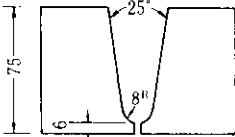
試験におけるひずみ速度は 5×10^{-4} /s(径ひず

Fig. 11 Relation between maximum allowable stress calculated from K_{IC} and crack size

み)または 1×10^{-3} /s(軸ひずみ), ひずみ波形は三角波, ひずみ比は-1であり, 常温では全ひずみ範囲が2%以上の場合は径ひずみ制御, 2%未満の場合は軸ひずみ制御, 350℃ではすべて軸ひずみ制御で試験を行った。また疲労寿命 N_f は亀裂の成長によって最大荷重が $N_f/2$ のときの75%に減少したときのくり返し数とした。

試験結果をASME Sec. VIII Div. 2, TRD301, BS5500の各規格に示される疲労設計曲線と比較してFig. 13に示す。図に示されるように本鋼板は母

Table 14 Welding conditions for fatigue test specimens

Groove design	Welding method	Welding rod	Welding current (A)	Arc voltage (V)	Welding speed (cm/min)	Heat input (kJ/cm)	S.R. condition
	Covered electrode arc welding	KS 81 5mm ϕ	230	24	13.5	24.5	600°C $\times$ 450min → F.C.

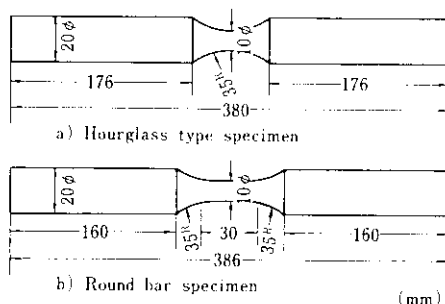


Fig. 12 Low cycle fatigue test specimens

材および溶接継手ともにその疲労強度は各規格の疲労設計曲線に示される疲労強度に対し十分高く、安全側に位置する疲労特性を示すことが確認された。

4. 結 論

中・常温圧力容器用高強度鋼として新たに制定

された日本溶接協会規格 PMS25 (350°C 降伏強度 25kg/mm² 保証鋼) に相当する鋼板として、Mo-V 系 Al 処理細粒鋼、KHY25 を開発した。

工場工程で製造した板厚 75mm の厚鋼板について種々の確性試験を行った結果、良好な母材特性をもち、加工性、溶接性、耐脆性破壊特性および疲労特性に優れた鋼材であることが明らかとなった。

なお本報では記述していないが、HTY 委員会のメンバーである石川島播磨重工業(株)および日立造船(株)において各社自主選択による溶接材料と、独自の溶接施行条件のもとで溶接継手性能試験が行われ、本鋼板が良好な溶接性をもつことが、また同委員会のメンバーである(株)北海鉄工所および大阪鉄鉛機械(株)において鏡板加工試験ならびにパイプおよび T ピース加工試験がそれぞれ行われ、本鋼板は優れた加工性をもつことが確認されている⁵⁾。

終わりに、本鋼材の開発にあたり、終始御指導

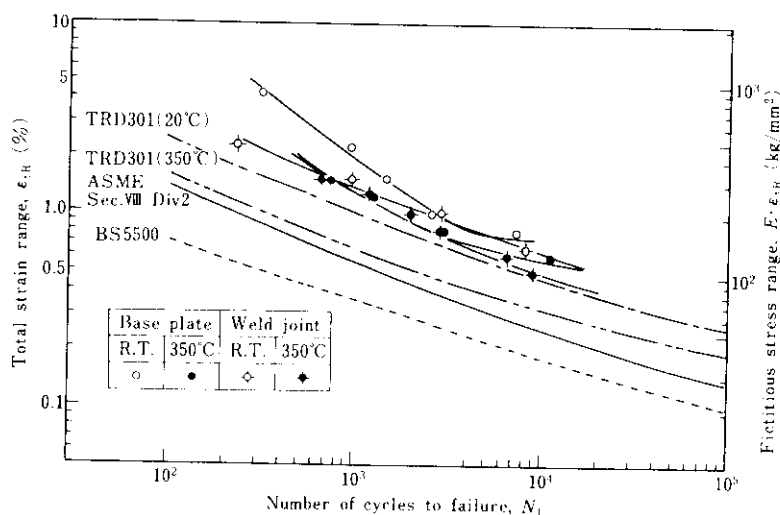


Fig. 13 Comparisons of low cycle fatigue strength with the design fatigue curves

を賜りました HTY 委員会委員長、千葉大学鶴 結果の討議にご参加戴き、有益な御助言を賜りま
戸口英善教授に深甚の謝意を表します。また試験 した HTY 委員会委員各位に深く感謝いたします。

参 考 文 献

- 1) 日本溶接協会規格：WES3005-1977, WES3006-1977
- 2) 石川、上田、鎌田、大橋：鉄と鋼，63（1977）4，S270
- 3) 上田、石川、鎌田、大橋：鉄と鋼，64（1978）14，2177
- 4) 森、大橋、鎌田、広瀬、上田、西山、鳴津、久世：川崎製鉄技報，10（1978）4，1
- 5) 日本溶接協会 PMS 委員会資料：PMS 4-7-4（1978）
- 6) Vd TÜV Werkstoffblatt (1.8812) WB25

