
中・常温圧力容器用高強度鋼鋼板および鍛鋼品の特性

Characteristics of High Strength Steel Plates and Forgings for Pressure Vessels Served at Intermediate and Moderate Temperatures

飯田 義治(Yoshiharu Iida) 江本 寛治(Kanji Emoto) 楠原 祐司(Yuji Kusuhara) 和中 宏樹(Hiroshige Wanaka) 朝生 一夫(Kazuo Aso) 吉村 茂彦(Shigehiko Yoshimura)

要旨：

350℃で Y.S.25kgf/mm² を保証する厚板 150mm の鋼板 (PMS25), 350℃で Y.S.25kgf/mm² を保証する肉厚 150mm, 300mm の鍛鋼品 (PMSF25) および 350℃で Y.S.35kgf/mm² を保証する肉厚 150mm, 300mm の鍛鋼品 (PMSF35) を製造した。PMS25 は, Cu, Ni, Nb を添加した鋼材である。熱処理は Normalizing-Tempering 処理を採用した。一方 PMSF25, PMSF35 は C-Mn-Ni-Cr-Mo-V 系であり, グレードに応じて添加量をコントロールした。熱処理はいずれも Quenching-Tempering 処理を採用した。得られた結果は, 強度, じん性, 溶接性ともすぐれたものであり, 日本溶接協会が規定する各規格を十分満足するものである。

Synopsis：

Three types of steel plate and forgings for pressure vessels use at intermediate and moderate temperatures have been newly manufactured at Mizushima Works: a 150mm thick plate with yield strength (Y.S.) over 25 kgf/mm² (PMS 25), 150mm and 300mm thick forgings with Y.S. over 25 kgf/mm² (PMSF 25), and 150mm and 300mm thick forgings with Y.S. over 35 kgf/mm² (PMSF 35), all serviceable at 350°C. PMS 25 whose chemical composition is mainly of C, Mn, Mo and V, containing small amounts of Cu, Ni and Nb, is normalized and tempered for heat treatment. On the other hand, PMSF25 and PMSF 35 have mainly C, Mn, Cr, Mo and V, with composition controlled according to a given grade specification. These are quenched and tempered for heat treatment. Test results show that all these materials shown above have superior strength, toughness, and weldability, especially at 350°C, and meet requirements specified by Japan Welding Society.

(c)JFE Steel Corporation, 2003

中・常温圧力容器用高強度鋼鋼板および鍛鋼品の特長

Characteristics of High Strength Steel Plates and Forgings for Pressure Vessels
Served at Intermediate and Moderate Temperatures

飯田 義治*
Yoshiharu Iida

江本 寛治**
Kanji Emoto

楠原 祐司***
Yuji Kusuhara

和中 宏樹****
Hiroshige Wanaka

朝生 一夫*****
Kazuo Aso

吉村 茂彦*****
Shigehiko Yoshimura

Synopsis:

Three types of steel plate and forgings for pressure vessels use at intermediate and moderate temperatures have been newly manufactured at Mizushima Works: a 150mm thick plate with yield strength (Y. S.) over 25 kgf/mm² (PMS 25), 150mm and 300mm thick forgings with Y. S. over 25 kgf/mm² (PMSF 25), and 150mm and 300mm thick forgings with Y. S. over 35 kgf/mm² (PMSF 35), all serviceable at 350°C.

PMS 25 whose chemical composition is mainly of C, Mn, Mo and V, containing small amounts of Cu, Ni and Nb, is normalized and tempered for heat treatment. On the other hand, PMSF 25 and PMSF 35 have mainly C, Mn, Cr, Mo and V, with composition controlled according to a given grade specification. These are quenched and tempered for heat treatment.

Test results show that all these materials shown above have superior strength, toughness, and weldability, especially at 350°C, and meet requirements specified by Japan Welding Society.

1. 緒 言

最近の各種化学工業の目覚ましい発展にともない、常・中温域（クリープを考慮しなくてよい温度領域）で使用される化学プラント用圧力容器の需要が急速に増えている。このような圧力容器は次第に大型化されており、使用鋼材はますます厚肉化される傾向にあるため、高圧力設計による肉厚低減、低コスト化が望まれていた。そこで日本溶接協会では、1977年12月に常温から400°Cまでの温度域における0.2%耐力を保証した「中・常温圧力容器用高強度鋼鋼板¹⁾」(WES 3 005)および

「中・常温圧力容器用高強度鋼鍛鋼品²⁾」(WES 3 006)の各規格を制定し、高応力設計への道を開いた。

当社では、この規格制定に先立ち PMS 25 相当鋼板（板厚 75mm）および PMS 35 相当鋼板（板厚 75mm）を試作し、それぞれ PMS 25 および PMS 35 の規格値を満足する材質であることを確認した³⁾。今回新たに PMS 25 極厚鋼板（板厚 150mm）PMSF 25 鍛鋼品（肉厚 150mm, 300mm）および PMSF 35 鍛鋼品（肉厚 150mm, 300mm）を製造し材質特性を調査したので以下に報告する。なお各試験は、日本溶接協会が定める「鋼種認定試験方法⁴⁾」に基づいて実施した。

* 水島製鉄所管理部部長・工博
*** 水島製鉄所管理部厚板管理室主査（課長待遇）
***** 水島製鉄所鍛造部鍛造管理室主査（掛長待遇）
〔昭和56年3月31日原稿受付〕

** 水島製鉄所管理部厚板管理室主査（副部長待遇）
**** 水島製鉄所鍛造部鍛造管理室主査（部長待遇）
***** 水島製鉄所管理部検査課掛長

2. 供試材の製造

2.1 鋼板

WES 3 005, PMS 25 の化学成分および機械的性質を Table 1 に示す。この機械的性質を目標として、Table 2 に示す化学成分を 30t 電気炉－LRF (Ladle Refining Furnace) プロセスにて溶製、脱ガスし 30t 扁平鋳型に下注ぎした。これを分塊圧延後、厚板圧延により 150×3 000×3 500 (mm) の鋼板を製造した。熱処理は 880°C×3.7h A.C. の焼ならし後つづいて 650°C×5h A.C. の焼もどしを行った。

2.2 鍛鋼品

WES 3 006, PMSF 25 および PMSF 35 の化学成分、機械的材質を Table 3 に示す。この機械的性質を目標として Table 4 に示す化学成分を、各々 30t 電気炉－LRF プロセスにて溶製、脱ガスし 18t 菊型鋳型に下注ぎした。その後鍛造－予備熱処理－調質前加工を行った。PMSF 25, PMSF 35 とともに 150mm 材 (150×1 000×2 150mm) および 300mm 材 (300×1 150×2 350mm) に加工した。

調質熱処理は、PMSF 25 の場合 930°C×6h 水冷後 600°C×6h A.C. を採用した。また PMSF 35 は、930°C×6h 水冷後 650°C×6h A.C. とした。

Table 1 Requirements of chemical composition and mechanical properties for PMS 25 steel

Steel	Thick- ness (mm)	Chemical composition*(wt.%)										Tensile properties				Charpy impact properties
		C	Si	Mn	P	S	Cu	Mo	V	Nb	C _{eq} **	Room temp.			350°C	Absorbed energy at 0°C (kgf·m)
												Y.S. (kgf/mm ²)	T.S. (kgf/mm ²)	El. (%)	Y.S. (kgf/mm ²)	
PMS25	t≤50	≤0.20	0.15 ~0.60	0.80 ~1.60	≤0.035	≤0.035	≤0.35	≤0.35	≤0.10	≤0.05	≤0.53	≥38	52~66	≥16	≥25	Av. ≥3.2 Min. ≥2.6
	50<t≤75	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	≥36	"	≥20	"	"
	75<t≤100	"	"	"	"	"	"	"	"	"	≤0.60	"	"	"	"	"
	100<t≤125	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	≥35	51~65	"	≥24	"
	125<t≤150	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	≥34	50~64	"	≥23	"

* Ni, Cr, etc. may be also added singly or in combination to steel, if necessary

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

Table 2 Chemical composition of PMS 25 steel

(wt.%)

Steel	Thickness (mm)	Sampling position	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	V	Nb	C _{eq} *
PMS 25	Heat analysis		0.17	0.42	1.48	0.004	0.004	0.17	0.18	0.12	0.148	0.040	0.030	0.50
	Product t=150mm	Top ¼t	0.17	0.42	1.48	0.003	0.003	0.18	0.18	0.12	0.14	0.041	0.034	0.50
		Bottom ¼t	0.16	0.41	1.46	0.003	0.003	0.17	0.18	0.12	0.13	0.040	0.028	0.48

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

Table 3 Requirements of chemical composition and mechanical properties for PMSF 25 and 35 steels

Steel	Thick- ness (mm)	Chemical composition* (wt.%)										Tensile properties			Charpy impact properties	
		C	Si	Mn	P	S	Cu	Mo	V	Nb	C _{eq} **	Room temp.			350°C	Absorbed energy at 0°C
												Y.S. (kgf/mm ²)	T.S. (kgf/mm ²)	El. (%)	Y.S. (kgf/mm ²)	
PMSF 25	t ≤ 100	≤ 0.20	0.15 ~ 0.50	0.80 ~ 1.50	≤ 0.030	≤ 0.030	≤ 0.35	≤ 0.30	≤ 0.10	≤ 0.05	≤ 0.60	≥ 36	52 ~ 67	≥ 20	≥ 25	Av. ≥ 3.2 Min. ≥ 2.6
	100 < t ≤ 150	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	≥ 34	50 ~ 65	"	100-125 ≥ 24 125-150 ≥ 23	"
	150 < t ≤ 300	"	"	"	"	"	"	"	"	"	≤ 0.63	"	"	"	≥ 22	"
PMSF 35	t ≤ 100	"	"	0.80 ~ 1.70	"	"	"	≤ 0.50	"	"	≤ 0.62	≥ 44	60 ~ 75	≥ 18	≥ 35	"
	100 < t ≤ 150	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	≥ 42	58 ~ 73	"	100-125 ≥ 34 125-150 ≥ 33	"
	150 < t ≤ 300	"	"	"	"	"	"	"	"	"	≤ 0.65	"	"	"	≥ 32	"

* Ni, Cr, etc. may be also added singly or in combination to steel, if necessary

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

Table 4 Chemical composition of PMSF 25 and 35 steels

(wt.%)

Steel	Thickness (mm)	Sampling position	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	V	Nb	C _{eq} *
PMSF 25	Heat analysis		0.15	0.23	1.23	0.005	0.004	0.02	0.35	0.22	0.14	0.036	< 0.001	0.45
	Product	Top 1/4 t	0.14	0.24	1.21	0.005	0.004	0.02	0.35	0.22	0.13	0.036	< 0.001	0.44
		Bottom 1/4 t	0.13	0.23	1.19	0.005	0.004	0.02	0.34	0.22	0.13	0.036	< 0.001	0.43
	Product	Top 1/4 t	0.14	0.24	1.23	0.006	0.004	0.02	0.35	0.22	0.14	0.037	< 0.001	0.45
		Bottom 1/4 t	0.14	0.24	1.23	0.007	0.004	0.02	0.35	0.22	0.14	0.037	< 0.001	0.45
PMSF 35	Heat analysis		0.16	0.41	1.56	0.005	0.004	0.02	0.77	0.12	0.38	0.025	< 0.001	0.57
	Product	Top 1/4 t	0.14	0.42	1.54	0.007	0.004	0.02	0.77	0.12	0.37	0.025	< 0.001	0.55
		Bottom 1/4 t	0.14	0.41	1.51	0.006	0.004	0.02	0.76	0.12	0.36	0.025	< 0.001	0.54
	Product	Top 1/4 t	0.16	0.43	1.58	0.006	0.004	0.02	0.79	0.12	0.38	0.025	< 0.001	0.58
		Bottom 1/4 t	0.16	0.44	1.58	0.006	0.004	0.02	0.80	0.12	0.38	0.026	< 0.001	0.58

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

3. 鋼板の性能

3-1 母材特性

3-1-1 内部性状

鋼板の全面にわたり、JIS G 0801 に従って超音波探傷を行った結果、無欠陥であった。また鋼板の頭部および底部の板幅中央部より圧延方向に直角に全厚試験片を採取し、JIS G 0560 に基づきサルファープリント試験および10%硝酸水溶液によるマクロ組織試験を実施した。いずれも偏析の少ない良好な組織であった。

3-1-2 機械的性質

(1) 常温および高温引張試験

常温引張試験結果を Table 5 に示す。各試験温度による引張特性の変化の一例を Fig. 1 に示す。N+PWHT (600°C×9h 炉冷) での一例であるが、常温から 400°C での規格を十分満足する良好な特性を示している。

(2) 曲げ試験

母板の頭部および底部より圧延方向に直角に試

験片を採取し、PWHT (600°C×9h 炉冷) を施した後表曲げ試験 ($R=1.5t$, 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) V シャルピー試験

試験結果を Table 6 に示す。N+PWHT および NT のままのいずれについても、またいずれの方向についても規格を十分満足する良好な特性を示している。

(4) 落重試験

板厚 1/4 部より圧延方向に直角に 3 種試験片を採取し、日本溶接協会鋼種認定方法に従って試験を行った。試験結果を Table 7 に示すとおり、N DT 温度は -15°C であった。

(5) 3 点曲げ試験

圧延方向に直角に試験片を採取し、PWHT (600°C×9h 炉冷) を施した後 Fig. 2 に示す形状に加工した。疲労き裂は $\Delta K=64\text{kgf}\cdot\sqrt{\text{mm}}/\text{mm}^2$ ($P_{\max}=2350\text{kgf}$, $P_{\min}=200\text{kgf}$) の条件で押入した。破壊じん性値 K_{Ic} は ASTM E 399 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 値を K_{Ic} 値とみなした。ここで a, B, W はそれぞれき裂長さ、試験片厚さ、試験片幅である。上記

Table 5 Tensile properties at room temperature (PMS 25)

Heat treatment	Position	Through-thickness location	Direction	Y. S. (kgf/mm ²)	T. S. (kgf/mm ²)	EL (%)	R. A. (%)	Y. R. (%)
N+PWHT (600°C×9hF.C.)	Top	1/4	L	44.3	60.1	28	72	74
				43.4	60.1	27	69	72
			C	41.5	60.2	29	69	70
				41.3	59.7	26	67	69
	Bottom	1/4	L	41.5	59.3	30	70	70
				42.0	59.3	27	66	71
			C	43.3	60.1	26	69	72
				43.3	59.8	25	68	72
N-T	Top	1/4	L	44.8	59.5	28	70	75
				44.0	59.5	28	71	74
			C	42.5	57.8	27	73	74
				43.8	58.6	26	66	75
	Bottom	1/4	L	44.3	59.3	29	75	70
				44.0	59.2	28	74	71
			C	44.0	58.4	26	71	75
				44.2	58.6	26	70	75

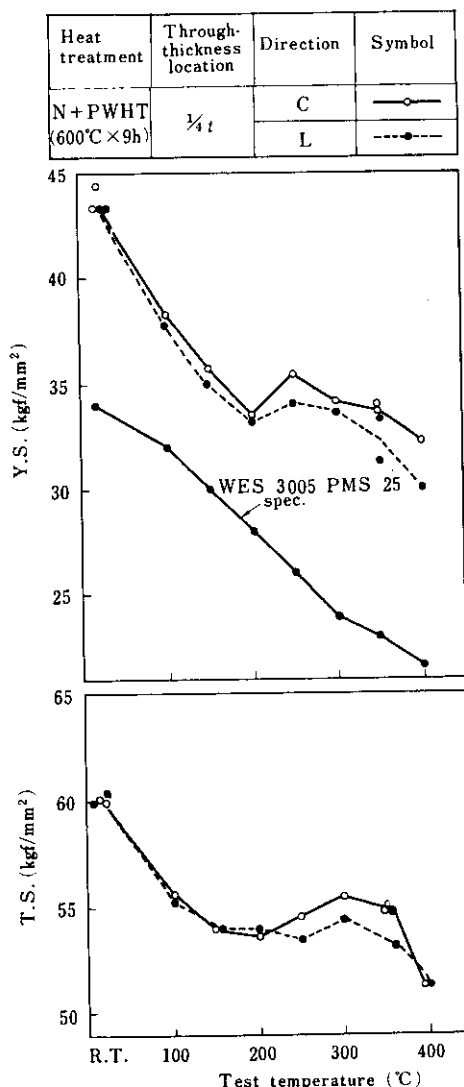


Fig. 1 Tensile properties at elevated temperatures (PMS 25)

条件を満足しない場合にはJ積分値を利用する方法により K_{Ic} を求めた。求められた K_{Ic} の温度依存性を Fig. 3 に示す。限界COD値 δ_c は、最大荷重時のクリップゲージ開口変位から Wells の方法を用いて計算した。求められた δ_c の温度依存性を Fig. 4 に示す。 δ_c は 0°C において 0.80mm、また $\delta_c=0.2$ mm となる温度は -33°C であり、ぜい性破壊発生感受性は低い。

(6) 光学顕微鏡組織

代表組織を Photo. 1 に示す。いずれの板厚内位

Table 6 V Charpy impact properties (PMS 25)

Heat treat-ment	Position	Through-thickness location	Direction	vE_0 (kgf·m)	vT_{re} (°C)	vT_{rs} (°C)
N+PWHT (600°C×9h)	Top	1/4	L	14.0	-18	-18
			C	13.5	-24	-23
	Bottom	1/4	L	12.1	-14	-11
			C	14.3	-15	-16
N-T	Top	1/4	L	12.0	-18	-19
			C	15.9	-21	-22
	Bottom	1/4	L	16.7	-22	-28
			C	15.5	-23	-30

Table 7 Results of drop-weight tests (PMS 25)

Direction	Test temperature (°C)	Results of test	T_{NDT} (°C)
L	-10	○ ○ ○	-15
	-15	○ ● ●	
	-20	● ● ●	
C	-10	○ ○ ○	-15
	-15	○ ● ●	
	-20	● ● ●	

○ Not broken
● Broken
◐ Half broken

置においてもフェライト、パーライトおよびベイナイトの混合組織を示している。

3.2 焼もとし脆化特性

G.E. 型の加速ぜい化処理を行った後シャルピー衝撃試験を実施した。試験結果を Table 8 に示す。

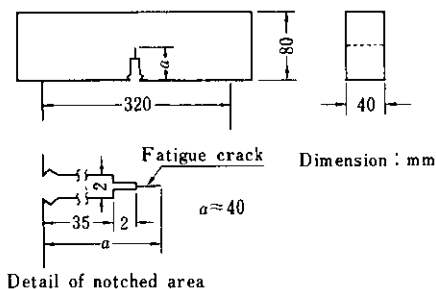
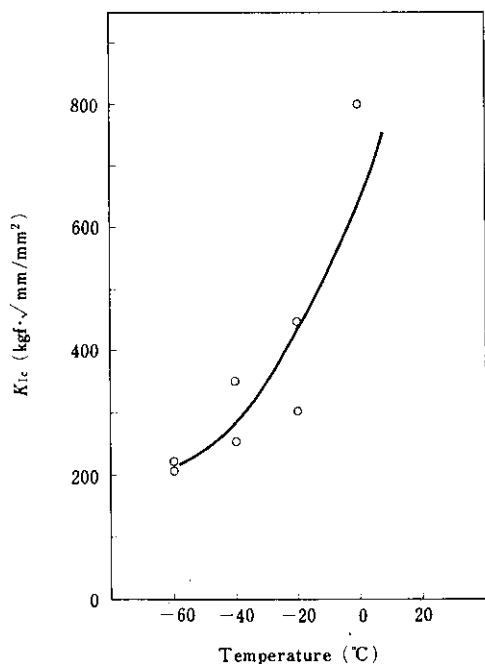


Fig. 2 Dimension of test specimen

Fig. 3 Temperature dependence of K_{Ic} value (PMS 25)

ぜい化処理によるじん性の低下は小さく、ぜい化処理後も規格値を満足している。

3-3 加工性

(1) 溶接後熱処理 (PWHT) による材質変化

じん性におよぼす PWHT の影響を Table 9 に示す。PWHT 温度の上昇とともにじん性は向上するがその変化量は小さい。すなわち 570~630°C の PWHT 後においても規格を十分満足するじん性を有している。

(2) ひずみ時効試験

5%引張ひずみ + 250°C × 60min の時効および

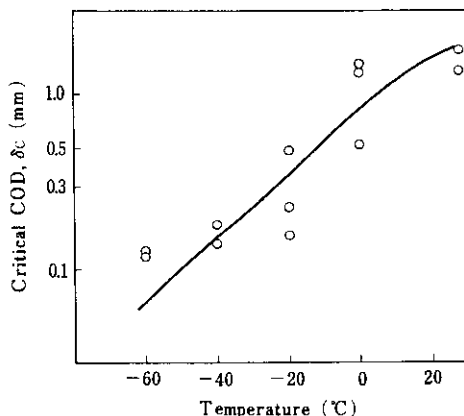


Fig. 4 Temperature dependence of COD value (PMS 25)

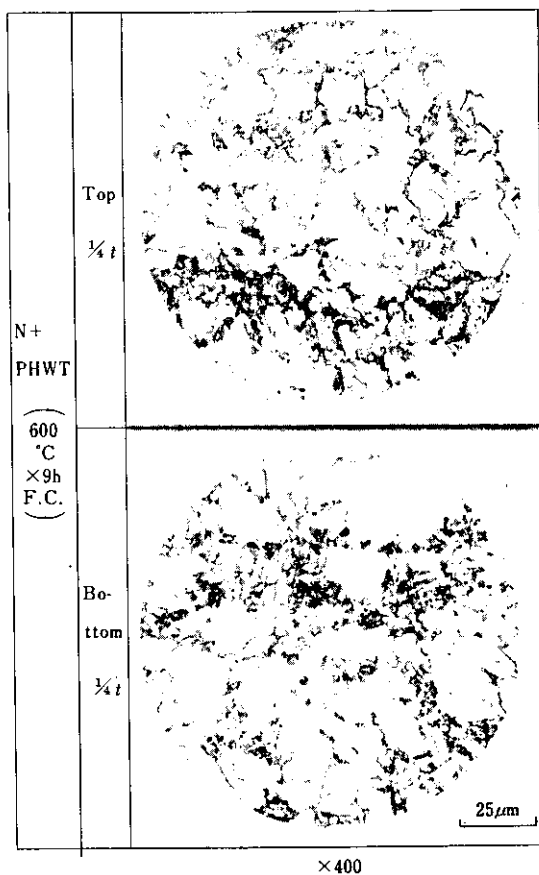


Photo. 1 Microstructures of PMS 25 steel (600°C × 9h → F.C.)

PWHT を施したシャルピー衝撃試験結果を Table 10 に示す。ひずみ時効によりじん性は劣化するが規格値を満足している。

Table 8 V Charpy impact properties before and after step cooling (PMS 25)

Heat treatment	PWHT	Step cooling	vE_0 (kgf·m)	vT_{RE} (°C)	vT_{RS} (°C)	ΔT_{RE} (°C)	ΔT_{RS} (°C)
Normalizing	600°C×9h	Before S.C.	135	-24	-23	15	12
		After S.C.	126	-9	-11		
Normalizing and tempering	—	Before S.C.	159	-21	-22	16	14
		After S.C.	116	-5	-8		

Table 9 V Charpy impact properties after PWHT (PMS 25)

Heat treatment	PWHT	Through-thickness location	Direction	vE_0 (kgf·m)	vT_{RE} (°C)	vT_{RS} (°C)
Normalizing	570°C×9h	1/4	C	132	-16	-18
	600°C×9h	1/4	C	135	-24	-23
	630°C×9h	1/4	C	161	-31	-27
Normalizing and tempering	—	1/4	C	159	-21	-22
	600°C×9h	1/4	C	143	-18	-18

Table 10 V Charpy impact properties after strain-aging treatments (PMS 25)

	Strain aging	PWHT	vE_0 (kgf·m)	vT_{RE} (°C)	vT_{RS} (°C)
Normalizing	—	600°C×9h	135	-24	-23
	Strain 5% + 250°C×1h aging	600°C×9h	104	-11	-8
Normalizing and tempering	—	—	159	-21	-22
	Strain 5% + 250°C×1h aging	—	115	-16	-14
	Strain 5% + 250°C×1h aging	600°C×9h	146	-19	-15

(3) 熱間加工時の加熱相当熱処理による材質変化
焼ならし後鋼板より切り出した試片を 850°C~900°C の各温度に加熱保持 (保持期間: 2h) した後, 800~400°C の平均冷却速度が 6°C/min の条件で空冷しその後 PWHT または焼ならし + PWHT 処理を行って材質変化を調査した。調査結果の一例を Table 11 に示す。焼ならしを実施しない場合, 加熱温度の上昇にとともに, じん性は劣化するが, 焼ならしによりほぼ加工前のレベルに回復する。

Table 11 V Charpy impact properties after heat treatment corresponding hot forming (PMS 25)

PWHT			vE_0 (kgf/mm ²)	vT_{RE} (°C)	vT_{RS} (°C)
Heat treatment corresponding hot forming	Nor-malizing	PWHT			
850°C×2h	—	600°C×9h	138	-11	-18
	880°C×2h	600°C×9h	142	-18	-20
900°C×2h	—	600°C×9h	9.6	-2	5
	880°C×2h	600°C×9h	11.5	0	4
950°C×2h	—	600°C×9h	8.3	14	15
	880°C×2h	600°C×9h	13.5	-13	-14

3.4 溶接性

(1) 斜め Y 開先拘束割れ試験

JIS Z 3158 に従って斜め Y 開先拘束割れ試験を行った。試験結果を Fig. 5 に示す。ルート割れ阻止温度は 125°C であり, この種の鋼材としては十分低い割れ感受性を示している。

(2) 再熱割れ試験

溶接部の PWHT の割れ感受性を明らかにするため Fig. 6 に示す要領で再熱割れ試験を行った。ひずみ付加ビード 30 パスにおいても割れは全く発生しなかった。

(3) 継手性能試験

サブマージアーク溶接継手を製作し, 各種試験を実施した。溶接条件を Table 12 に示す。継手引張試験, 継手高温引張試験結果を Table 13, V シャルピー衝撃試験結果を Table 14 に示す。裏曲げ, 側曲げおよび自由曲げ試験もあわせて実施したが, すべて良好であった。

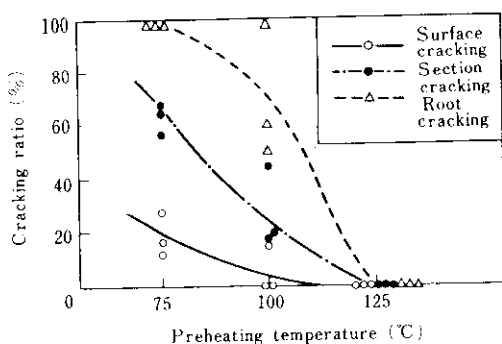
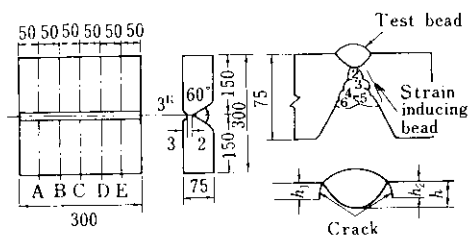


Fig. 5 Results of Y-groove restraint cracking tests (PMS 25)



Welding rod : KS 81 (5mm ϕ)
 Preheating temperature : 150°C
 Welding conditions : 230A-24V-135mm/min (24.5kJ/cm)
 Cracking percentage in each section (%) $\cdot \frac{h_1 + h_2}{2h} \times 100$

Fig. 6 Specimen for reheat cracking test

Table 14 V Charpy impact properties at 0°C of welded joints (PMS 25)

Testing position	Heat treatment	vEo^* (kgf·m)	$vTre$ (°C)	$vTrs$ (°C)
W. M	As welded	18.2	37	-34
	600°C×9h F.C.	17.3	-22	-26
Bond	As welded	19.5	-45	-46
	600°C×9h F.C.	19.4	-50	49
HAZ	As welded	23.3	-80	-79
	600°C×9h F.C.	18.9	-58	-54

** Average value of three specimens

4. 鍛鋼品の性能

4.1 母材特性

4.1.1 内部性状

鍛鋼品の全面にわたり、周波数 2.25MHz、探傷感度 $V_{15-2.8}=80\%+6dB$ にて超音波探傷を行った結果、無欠陥であった。また全断面マクロ組織お

Table 12 Welding condition (PMS 25)

Groove design	Welding condition			
	Preheating temperature (°C)	Preheating and interpass temp. (°C)	Welding rod wire and flux	Diameter of wire (mm)
	150	150~200	Wire KW101B Flux KB80C	4.8
	Welding current (A)	Arc voltage (V)	Welding speed (cm/min)	Heat input (kJ/cm)
	650	32	28	44.6

Table 13 Tensile properties of welded joints (PMS 25)

Heat treatment	Room temperature				350°C			
	Y.S. (kgf/mm ²)	T.S. (kgf/mm ²)	El. (%)	R.A. (%)	Y.S. (kgf/mm ²)	T.S. (kgf/mm ²)	El. (%)	R.A. (%)
As welded	56.8	63.9	26	71	46.9	62.2	18	69
					45.3	62.8	19	65
600°C×9h F.C.	55.2	64.3	28	74	41.6	57.8	18	73
					41.0	57.7	18	74

よびサルファープリント試験を実施したが、いずれも偏析の少ない良好な組織であった。

4-1-2 機械的性質

(1) 常温および高温引張試験

PMSF25, PMSF 35の常温引張試験結果を、Table 15に示す。各試験温度による引張特性の変化をFig.7, Fig.8に示す。150mm材, 300mm材とも常温から400℃での規格を十分満足する良好な特性を示している。

(2) Vシャルピー試験

試験結果をTable 16に示す。150mm材, 300mm材のいずれについても、規格を十分満足する良好な成績を示している。L, C方向差も小さく、特に肉厚300mm材では、その差は小さい。

(3) NRL落重試験

NRL落重試験結果をTable 17に示す。PMSF 25, 肉厚150mm材のNDT温度は-35~-40℃, 肉厚300mm材は-30~-35℃である。またPMSF 35, 肉厚150mm材では-25~-30℃, 肉厚300mm材では-10~-15℃であった。いずれも、ぜい性き裂伝ば停止特性はすぐれている。

(4) 3点曲げ試験

K_{Ic} の温度依存性をFig.9に示す。また δ_c の温度依存性をFig.10に示す。PMSF 25, 肉厚150mm材では0℃での δ_c は1.303mm, 300mm材では2.1mm以上である。また $\delta_c=0.2$ mmとなる温度は、いずれの場合も-80℃以下であった。一方PMSF 35, 150mm材では0℃における δ_c は1.026mm, 300mm材では0.456mmであった。また $\delta_c=0.2$ mmの場合各々-60℃, -33℃であり、いずれもすぐれたぜい性き裂伝ば停止特性を示している。

(5) 光学顕微鏡組織

代表写真をPhoto.2に示す。PMSF 35の場合、肉厚中心までペーナイト組織であるが、PMSF 25は、ペーナイトとフェライトおよびパーライト組織が混在している。

4-2 溶接後熱処理 (PWHT) による材質変化

強度およびじん性におよぼすPWHTの影響をTable 18に示す。PWHTによる変化は小さく、PWHT後においても規格を十分満足する強度、じん性を有している。

Table 15 Tensile properties at room temperature (PMSF 25, 35)

Steel	Thickness	Position	PWHT	Through-thickness location	Direction	Y.S. (kgf/mm ²)	T.S. (kgf/mm ²)	El. (%)	R.A. (%)	Y.R. (%)
PMSF 25	150mm	Top	As Q-T	1/4	L	42.7 41.1	56.7 55.5	32 30	74 75	75 74
		Bottom	As Q-T	1/4	L	37.6 40.9	52.3 54.6	32 25	75 75	72 75
	300mm	Top	As Q-T	1/4	L	38.1 37.7	53.5 52.7	30 30	73 74	71 72
		Bottom	As Q-T	1/4	L	39.5 40.0	54.0 54.2	30 30	74 75	73 74
	150mm	Top	As Q-T	1/4	L	52.8 52.6	65.2 65.4	25 24	75 72	81 80
		Bottom	As Q-T	1/4	L	52.5 50.9	64.2 63.4	25 25	73 75	82 80
PMSF 35	150mm	Top	As Q-T	1/4	L	50.3 51.2	64.4 64.9	23 24	71 72	78 79
		Bottom	As Q-T	1/4	L	52.8 52.7	66.0 66.2	24 25	71 70	80 80

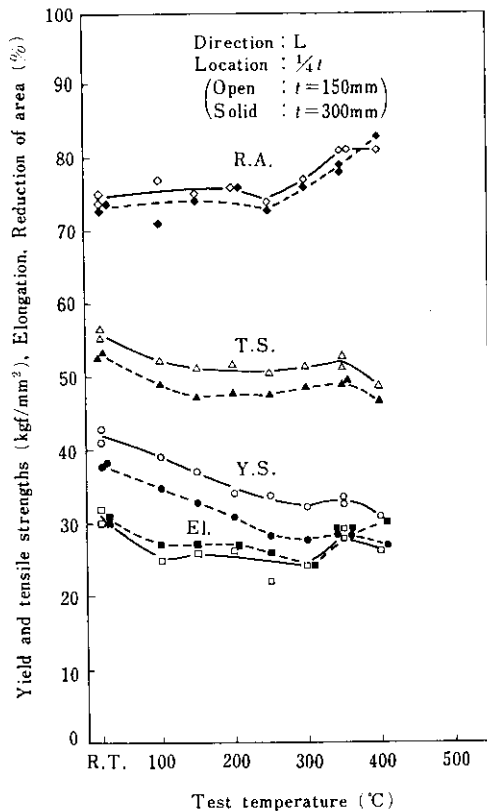


Fig. 7 Tensile properties at elevated temperature (PMSF 25)

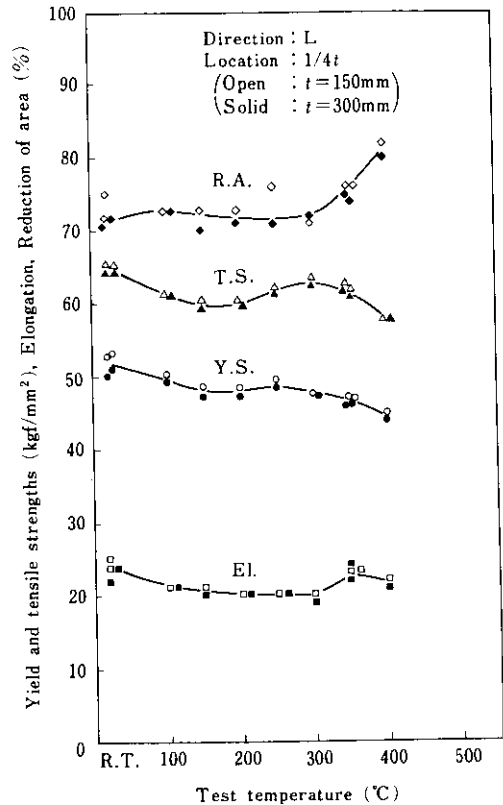


Fig. 8 Tensile properties at elevated temperature (PMSF 35)

4.3 溶接性

(1) 斜め口開先拘束割れ試験

斜めY開先拘束割れ試験による溶接部の低温われ阻止のための予熱温度は、PMSF 25の場合、150mm材300mm材とも100°Cであった。PMSF 35では、150mm材では175°C300mm材では150°Cであり、炭素当量からみても十分実用になる低い値といえる。

(2) 再熱割れ試験

PMSF 25, PMSF 35とも、拘束ビード数30パス、PWHT温度600°Cではわれは観察されず、再熱われ感受性は小さい。

(3) 継手性能試験

溶接材料KW 101 BおよびKB 120を用い、入熱量60~70kJ/cm、予熱パス間温度130~150°Cの条件下で両鋼種とも狭開先サブマージ溶接継手を製作した。300mm材の継手溶接条件の一例をTable 19に示す。継手引張試験、継手高温引張試験結果を

Table 20, 21に示す。Vシャルピー衝撃試験結果をTable 22, 23に示す。裏曲げ、側曲げおよび自由曲げ試験もあわせて実施したが、すべて良好であった。

5. 結 言

実用鋼材として工場の製造工程で製作した鋼板(PMS 25, 板厚150mm)および鍛鋼品(PMSF 25肉厚150mm, 300mm, PMSF 35肉厚150mm, 300mm)について種々確性試験を実施した結果以下のことが明らかとなった。

(1) PMS 25

(a) 常温および高温引張試験成績は良好でありすべての部位にてWES 3005 PMS 25の規格値を十分満足している。また曲げ試験も良好であった。

(b) Vシャルピー衝撃試験についても、いずれの方向についても規格を十分満足している。

(c) 落重試験によるNDT温度は-15°Cであった。また3点曲げ試験における δ_c は0°Cにお

Table 16 V Charpy impact properties (PMSF 25, 35)

Steel	Thickness	Position	PWHT	Through-thickness location	Direction	$vTrs$	$vTRE$	$vEsh$	vEt^*
						($^{\circ}C$)	($^{\circ}C$)	($kgf \cdot m$)	($kgf \cdot m$)
PMSF 25	150mm	Top	As Q-T	1/4	L	-53	—	—	26.4
					C	33	—	—	17.5
		Bottom	As Q-T	1/4	L	-46	-47	29.2	29.2
					C	35	-50	19.7	15.8
	300mm	Top	As Q-T	1/4	L	-35	-62	22.6	23.2
					C	-37	-53	21.2	16.1
		Bottom	As Q-T	1/4	L	-39	-44	23.2	24.0
					C	-31	-35	21.0	18.9
PMSF 25	150mm	Top	As Q-T	1/4	L	-20	-35	25.4	25.4
					C	-18	-25	17.7	14.6
		Bottom	As Q-T	1/4	L	-21	-40	23.1	20.0
					C	+11	-15	19.0	12.4
	300mm	Top	As Q-T	1/4	L	+6	-15	20.7	9.1
					C	+9	0	19.7	11.6
		Bottom	As Q-T	1/4	L	-4	-15	21.4	11.2
					C	-1	-15	18.3	12.8

* Average value of three specimens

Table 17 Results of drop weight tests (PMSF 25, PMSF 35)

Steel	Thickness	Position	Through-thickness location	Direction	Test temperature ($^{\circ}C$)								T_{NDT} ($^{\circ}C$)
					-5	-10	-15	-20	-25	-30	-35	-40	
PMSF 25	t=150mm	Top	1/4	L					○ ○	○ ○	○ ●		-35
		Bottom	1/4	L							○ ○	● ●	-40
	t=300mm	Top	1/4	L					○ ○	○ ●	○ ●		-30
		Bottom	1/4	L					○ ○	○ ○	● ●		-35
PMSF 35	t=150mm	Top	1/4	L			○ ○	○ ○	○ ●				-25
		Bottom	1/4	L					○ ○	● ●	● ●		-30
	t=300mm	Top	1/4	L	○ ○	○ ●	●						-10
		Bottom	1/4	L		○ ○	○ ○	● ●					-15

○ Not broken

● Broken

◐ Half broken

いて0.8mm, また $\delta c=0.2mm$ となる温度は, $-33^{\circ}C$ であり, すぐれたぜい性き裂伝ば停止特性を示している。

(d) G.E. 型の加速ぜい化処理の結果シャルビ

一衝撃値の劣化は小さく $\Delta vTRE$ で $15^{\circ}C$, $\Delta vTrs$ で $12^{\circ}C$ であった。

(e) 加工性試験として, PWHT による材質変化, ひずみ時効試験, 熱間加工時の加熱相当熱処理

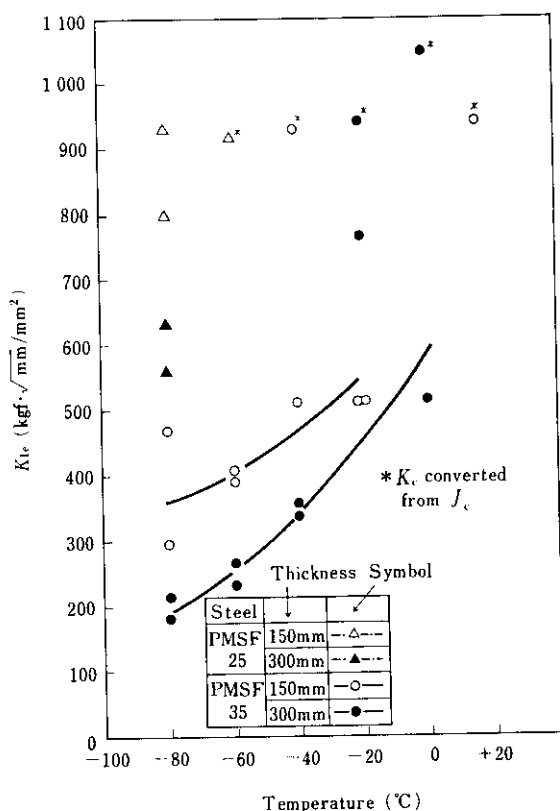


Fig. 9 Temperature dependence of K_{Ic} valve (PMSF 25, PMSF 35)

による材質変化を調査したが、いずれも規格値を十分満足している。

(f) 斜め Y 開先拘束割れ試験によるルート割れ阻止温度は 125°C であった。また再熱割れ試験において、ひずみ付加ビード数 30 の割れ率は 0 であった。

(g) サブマージアーク溶接継手について溶接部の常温および高温における引張、曲げおよびシャルピー衝撃特性は、いずれも良好な成績を示している。

(2) PMSF 25, PMSF 35

(a) 常温および高温引張試験成績は、両鋼種とも 300mm 厚のすべての部位にて WES 3 006, PMSF 25, PMSF 35 の規格値を十分満足している。

(b) V シャルピー衝撃試験についても、規格を十分満足している。かつ方向性は小さい。

(c) 落重試験による NDT 温度は、PMSF 25 で

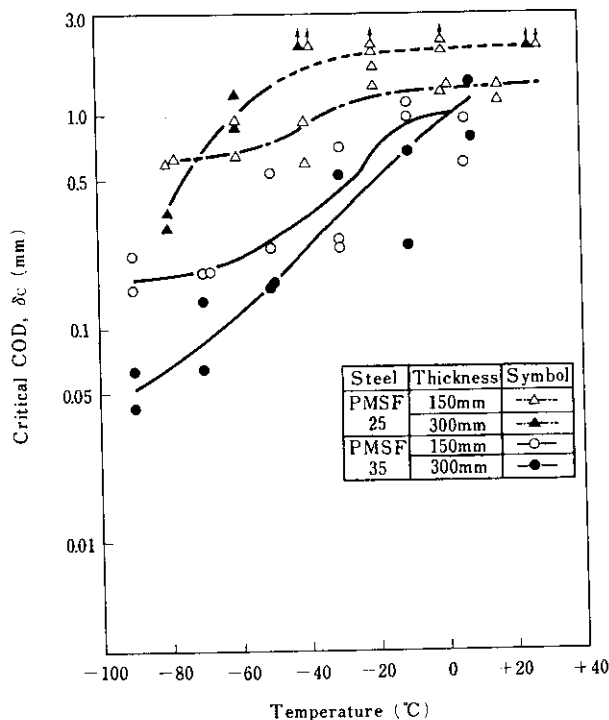


Fig. 10 Temperature dependence of COD valve (PMSF 25, PMSF 35)

は -30 ~ -40°C, PMSF 35 材では -10 ~ -30°C であった。

(d) 3 点曲げ試験における δ_c は PMSF 25 300mm 材では、0°C において 2.1mm 以上であった。一方 PMSF 35 300mm 材は 0.456mm であった。また $\delta_c = 0.2mm$ となる温度は、各々 -80°C 以下、-33°C であった。いずれの鋼種もすぐれたぜい性き裂伝ば停止特性を示している。

(e) 斜め Y 開先拘束割れ試験による低温われ阻止温度は、PMSF 25 材 (300mm 材) では 100°C, PMSF 35 材 (300mm 材) では 150°C であった。また再熱割れ試験では、両鋼種とも割れ率は 0 であった。

(f) 継手性能試験として、両鋼種とも狭開先サブマージ溶接継手を製作し、各種試験を実施した結果いずれも良好な成績を示している。

以上に記述したように、PMS 25 板厚 150mm 材 (当社規格 KHY 25), PMSF 25 肉厚 150mm, 300mm 材 (当社規格 KHYF 25) および PMSF 35, 肉厚 150mm, 300mm 材 (当社規格 KHYF 35) の 3 鋼種は、日本溶接協会の鋼種認定委員会におい

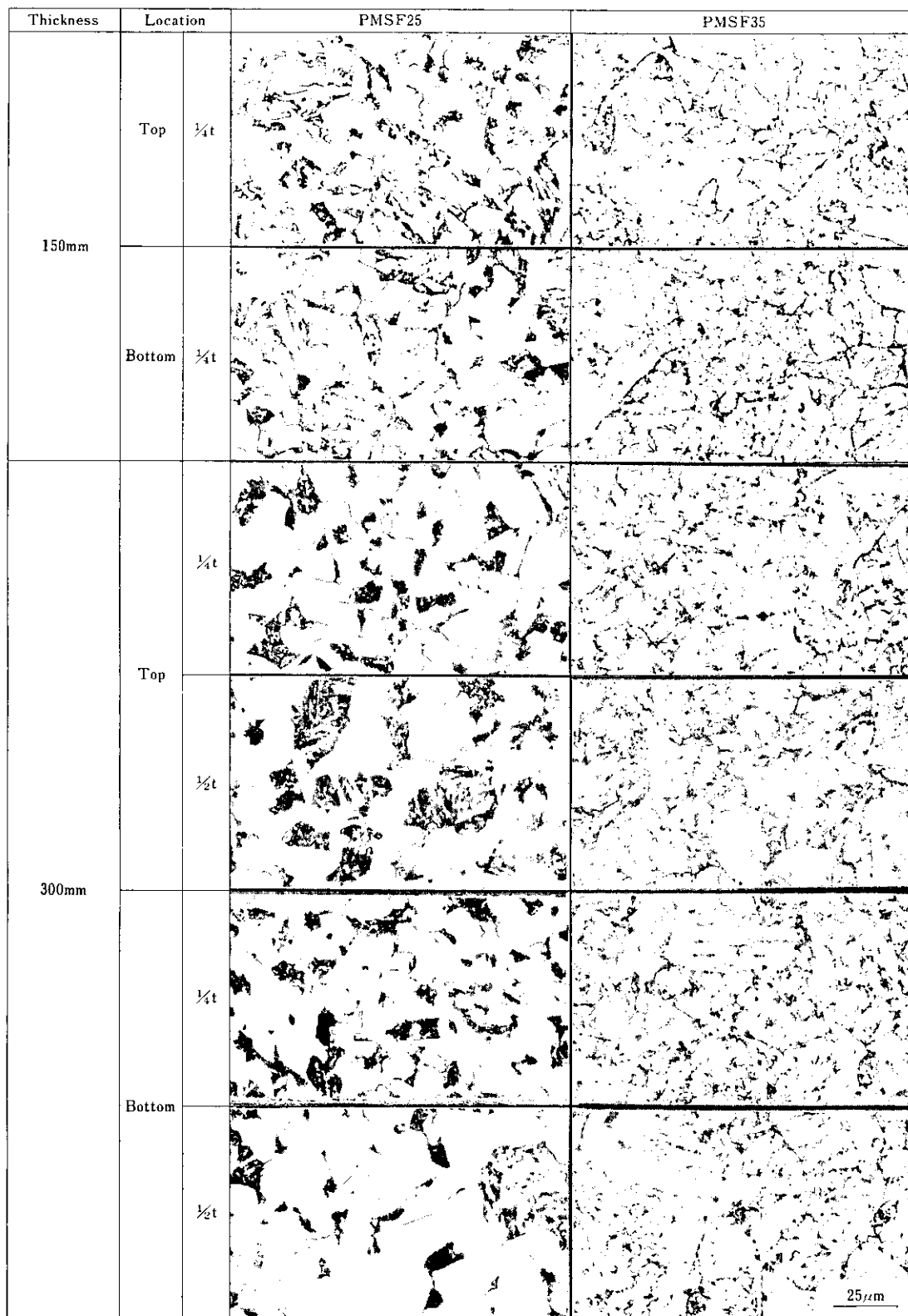


Photo.2 Microstructures of PMSF 25 and 35 Steels

Table 18 Tensile and Charpy impact properties of PMSF 25 and 35 steels after PWHT

Table 18 Lenses and Charpy Impact Properties																						
Steel	PWHT	Through-thickness location	Direction	Y.S. (kgf/mm ²)	T.S. (kgf/mm ²)	EL. (%)	R.A. (%)	Y.R. (%)	Test temp.	Direction	Y.S. (kgf/mm ²)	T.S. (kgf/mm ²)	EL. (%)	R.A. (%)	Y.R. (%)	Direction	vTrs (°C)	vT _{RE} (°C)	vEsh (kgf-m)	vEh (kgf-m)	Crystallinity (%)	
PMSF 25 spec	560°C×3hF.C.	¼t	L	≥34	50~65	≥20	—	—	100~400 at 50°C interval	L	0.2% Y.S. (kgf/mm ²) 100°C: ≥34 150°C: ≥32 200°C: ≥30 250°C: ≥28 300°C: ≥26 350°C: ≥25 400°C: ≥23											
											30.3	47.9	30	82	63	L	-49	-57	24.1	246 235 241 (241)	0 0 0	
											30.4	48.1	37	81	63	L	-45	-48	23.3	226 235 235 (232)	0 0 0	
											31.6	48.7	28	80	65	L	-45	-57	23.6	224 232 253 (236)	0 0 0	
	580°C×3hF.C.	¼t	L	41.2	55.7	26	77	74	350	L	31.8	47.9	27	82	66	L	-45	-57	23.6	224 232 253 (236)	0 0 0	
											31.2	48.4	27	80	64	L	-33	-	22.4	223 219 230 (224)	0 0 0	
											34.5	51.9	28	81	66	L	-39	-	22.8	227 227 230 (228)	0 0 0	
											35.3	51.9	27	82	68	L	-33	-	22.4	223 219 230 (224)	0 0 0	
	600°C×3hF.C.	¼t	L	42.4	56.7	23	74	75	350	L	31.7	50.2	28	80	63	L	-39	-	22.8	227 227 230 (228)	0 0 0	
											31.2	50.5	28	81	62	L	-33	-	22.4	223 219 230 (224)	0 0 0	
											32.0	50.7	29	81	63	L	-33	-	22.4	223 219 230 (224)	0 0 0	
											31.6	50.1	26	80	63	L	-33	-	22.4	223 219 230 (224)	0 0 0	
560°C×4.5hF.C.	¼t	L	39.8	55.2	24	74	72	350	L	28.2	48.4	27	81	58	L	-38	-	23.2	235 232 233 (233)	0 0 0		
										27.7	48.3	31	82	57	L	-36	-	22.2	225 222 220 (222)	0 0 0		
										28.8	49.2	30	81	59	L	-36	-	22.2	225 222 220 (222)	0 0 0		
										29.5	49.2	28	80	60	L	-35	-	22.4	233 220 220 (224)	0 0 0		
580°C×4.5hF.C.	¼t	L	39.3	53.3	28	75	74	350	L	27.4	48.3	29	82	57	L	-35	-	22.4	233 220 220 (224)	0 0 0		
										36.7	53.4	32	75	69	L	-35	-	22.4	233 220 220 (224)	0 0 0		
										36.7	52.5	31	75	70	L	-35	-	22.4	233 220 220 (224)	0 0 0		
										36.7	52.5	31	75	70	L	-35	-	22.4	233 220 220 (224)	0 0 0		
PMSF 35 spec	580°C×3hF.C.	¼t	L	≥42	58~73	≥18	—	—	100~400 at 50°C interval	L	0.2% Y.S. (kgf/mm ²) 100°C: ≥40 150°C: ≥39 200°C: ≥38 250°C: ≥37 300°C: ≥36 350°C: ≥35 400°C: ≥32											
											45.5	57.5	24	80	79	L	-20	-35	22.4	228 222 221 (224)	0 0 0	
											45.3	59.5	23	79	76	L	-24	-30	23.3	191 184 221 (199)	30 30 0	
											43.5	58.5	24	77	74	L	-28	-42	20.7	18.6 233 200 (207)	15 0 0	
	600°C×3hF.C.	¼t	L	52.3	63.5	25	75	82	350	L	45.8	59.9	23	78	76	L	-7	-20	—	16.4 185 5.6 (135)	35 15 85	
											45.4	59.3	22	77	77	L	-10	-20	20.8	17.5 143 16.9 (162)	25 55 30	
											47.0	61.6	24	79	76	L	-4	-20	20.3	17.0 17.4 11.8 (155)	20 20 65	
											47.1	61.8	23	79	76	L	-10	-20	20.3	10.3 17.4 16.3 (147)	65 20 35	
	620°C×3hF.C.	¼t	L	52.6	64.8	22	75	81	350	L	47.3	61.9	24	78	76	L	-15	-	20.6	16.4 6.5 15.4 (128)	35 80 40	
											47.6	62.3	23	78	76	L	-10	-	20.6	21.0 17.1 18.9 (190)	0 20 15	
											47.9	62.2	24	77	77	L	-10	-	20.6	21.0 17.1 18.9 (190)	0 20 15	
											47.3	61.8	23	79	77	L	-10	-	20.6	21.0 17.1 18.9 (190)	0 20 15	
PMSF 35 spec	580°C×4.5hF.C.	¼t	L	54.6	67.1	21	70	81	350	L	47.4	62.4	24	78	76	L	-10	-	20.6	21.0 17.1 18.9 (190)	0 20 15	
											54.2	67.5	20	71	80	L	-10	-	20.6	21.0 17.1 18.9 (190)	0 20 15	
											54.7	67.2	24	73	81	L	-10	-	20.6	21.0 17.1 18.9 (190)	0 20 15	
											54.5	67.3	23	73	81	L	-10	-	20.6	21.0 17.1 18.9 (190)	0 20 15	
	600°C×4.5hF.C.	¼t	L	54.7	67.2	24	73	81	350	L	47.3	61.5	22	76	77	L	-10	-	20.6	21.0 17.1 18.9 (190)	0 20 15	
											47.6	62.3	23	78	76	L	-10	-	20.6	21.0 17.1 18.9 (190)	0 20 15	
											47.9	62.2	24	77	77	L	-10	-	20.6	21.0 17.1 18.9 (190)	0 20 15	
											47.3	61.8	23	79	77	L	-10	-	20.6	21.0 17.1 18.9 (190)	0 20 15	
	620°C×4.5hF.C.	¼t	L	54.1	66.5	23	72	81	350	L	47.3	61.8	23	77	77	L	-10	-	20.6	21.0 17.1 18.9 (190)	0 20 15	
											54.2	67.0	24	74	81	L	-10	-	20.6	21.0 17.1 18.9 (190)	0 20 15	
											54.1	66.5	23	72	81	L	-10	-	20.6	21.0 17.1 18.9 (190)	0 20 15	
											54.2	67.0	24	74	81	L	-10	-	20.6	21.0 17.1 18.9 (190)	0 20 15	

Table 19 Welding condition of narrow gap submerged arc welding (PMSF 25, PMSF 35)

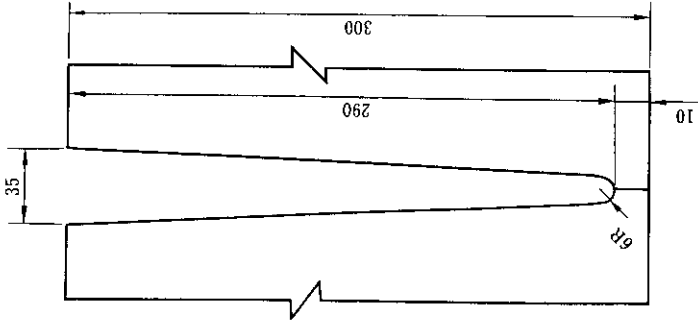
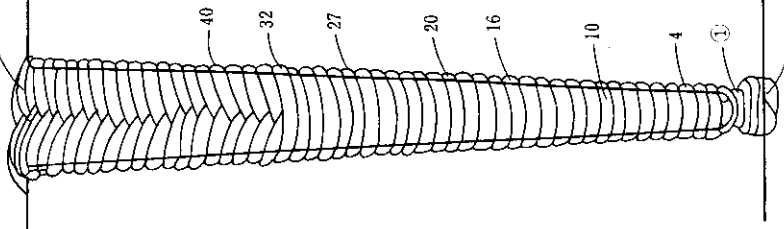
Welding method	Welding wire and flux	Groove design	Pass No.	Diameter of wire (mm)	Welding current (A)	Arc voltage (V)	Welding speed (cm/min)	Heat input (kJ/cm)	Preheating and inter-pass temp. (°C)	Welding pass sequence
Submerged arc welding	KW101B × KB 120		1 3 4	4.8	600	36	20	64.8	130 3 150	
			5 10	"	620	36	20	67.0	130 3 150	
			11 16	"	600	34	20	61.2	130 3 150	
			17 20	"	580	32	20	55.7	130 3 150	
			21 27	"	600	36	20	64.8	130 3 150	
			28 32	"	620	36	20	67.0	130 3 150	
			33 40	"	600	36	20	64.8	130 3 150	
			41 71	"	650	36	20	70.2	130 3 150	
			① 3 ⑥	"	650	36	20	70.2	130 3 150	

Table 20 Tensile properties of welded joints (PMSF 25)

Thickness	PWHT	Location	Test temp. (°C)	Y.S. (kgf/mm ²)	T.S. (kgf/mm ²)	El. (%)	R.A. (%)	Y.R. (%)
150mm	570°C×3hF.C.	W.M. All thickness	R.T.	—	60.6* 60.7*	—	—	—
		Bond $\frac{1}{4}t$	100	37.4	49.2	18	77	71
			150	38.7	50.9	17	76	76
			200	36.7	48.4	17	74	76
			250	41.2	52.4	17	74	79
			300	35.9	48.6	16	76	74
			350	35.0 35.6	48.9 48.9	18 18	79 78	72 73
			400	35.2	46.5	19	81	76
300mm	570°C×4.5hF.C.	W.M. All thickness	R.T.	—	63.3** 63.0**	—	—	—
		Bond $\frac{1}{4}t$	100	36.9	50.7	16	72	73
			150	43.3	54.4	16	75	80
			200	36.4	49.3	16	70	74
			250	38.0	50.5	16	72	75
			300	39.2	51.4	16	74	76
			350	37.3 41.0	50.8 52.9	16 16	78 79	73 78
			400	36.0	49.0	16	81	74

* Average value of four specimens

** Average value of eight specimens

Table 21 Tensile properties of welded joints (PMSF 35)

Thickness	PWHT	Location	Test temp (°C)	Y.S. (kgf/mm ²)	T.S. (kgf/mm ²)	El. (%)	R.A. (%)	Y.R. (%)
150mm	590°C×3h F.C.	W.M. All thickness	R.T.	—	69.6* 69.5*	—	—	—
		Bond $\frac{1}{4}t$	100	49.9	60.4	18	75	83
			150	49.7	60.2	16	73	83
			200	48.2	58.9	16	76	82
			250	49.4	59.2	16	69	83
			300	50.1	61.0	16	73	82
			350	49.1	61.8	18	75	79
				49.0	60.2	17	75	81
			400	47.1	57.3	18	81	82
300mm	590°C×4.5h F.C.	W.M. All thickness	R.T.	—	71.3** 70.6**	—	—	—
		Bond $\frac{1}{4}t$	100	52.6	63.5	16	71	83
			150	50.7	61.5	16	71	82
			200	48.8	59.8	15	73	82
			250	51.2	61.4	15	69	83
			300	50.4	61.2	15	72	82
			350	50.5	62.1	17	74	81
				50.8	62.4	17	74	81
			400	47.8	58.7	17	78	81

* Average value of four specimens

** Average value of eight specimens

Table 22 V Charpy impact properties of welded joints (PMSF 25)

Thickness	PWHT	Weld metal			Bond			HAZ (Center)		
		vTrs (°C)	vEo (kgf-m)	Cristallinity (%)	vTrs (°C)	vEo (kgf-m)	Cristallinity (%)	vTrs (°C)	vEo (kgf-m)	Cristallinity (%)
150mm	As Welded	-50	169	5	-40	142	10	-35	113	15
			176 (174)	0		176 (168)	5		161 (143)	10
			176	0		183	5		154	5
	560°C×3h F.C.	-35	127	25	-50	171	5	-38	136	15
			159 (141)	20		181 (160)	5		132 (138)	20
			136	20		128	5		147	10
150mm	570°C×3h F.C.	-38	156	10	-43	149	0	-42	253	0
			166 (148)	5		151 (155)	0		258 (260)	0
			123	15		166	0		270	0
	580°C×3h F.C.	-42	182	5	-30	64	20		226	5
			123 (161)	20		171 (124)	10	-40	249 (233)	0
			178	5		138	20		224	5
300mm	600°C×3h F.C.	-45	208	20	-50	232	10	-53	243	20
			247 (227)	10		287 (241)	0		272 (277)	0
			225	5		203	5		317	0
	As welded	-37	179	0	-36	179	5	-52	281	0
			179 (177)	0		211 (196)	0		259 (284)	0
			174	5		198	0		313	0
300mm	560°C×4.5h F.C.	-38	122	10	-35	187	10	-65	260	0
			151 (133)	5		172 (182)	10		277 (268)	0
			126	15		186	5		267	0
	570°C×4.5h F.C.	-36	148	5	-46	176	5	-69	260	0
			167 (152)	0		213 (205)	0		285 (265)	0
			142	5		226	0		250	0
300mm	580°C×4.5h F.C.	-38	163	5	-47	290	0	-67	263	0
			137 (146)	10		223 (256)	10		265 (269)	0
			138	10		254	0		278	0
	600°C×4.5h F.C.	-37	149	10	-45	199	5	-70	253	0
			139 (147)	15		222 (205)	0		260 (260)	0
			154	15		194	10		266	0

() : Average value

Table 23 V Charpy impact properties of welded joints (PMSF 35)

Table 23 V Charpy impact properties of welded joints											
Thickness	PWHT	Weld metal			Bond			HAZ (Center)			
		vTrs (°C)	vEo (kgf·m)	Cristallinity (%)	vTrs (°C)	vEo (kgf·m)	Cristallinity (%)	vTrs (°C)	vEo (kgf·m)	Cristallinity (%)	
150mm	As welded	-40	213	0	-25	202	10	-25	203	20	
			225 (216)	0		178 (193)	25		204 (195)	15	
			209	0		198	5		178	40	
	580°C×3h F.C.	-33	185	15	-34	169	0	-75	258	0	
			193 (187)	10		156 (165)	0		274 (264)	0	
			182	15		170	0		260	0	
	590°C×3h F.C.	-30	107	30	-30	197	5		248	0	
			118 (114)	25		167 (178)	15	-85	263 (256)	0	
			118	30		170	20		258	0	
	600°C×3h F.C.	-50	171	15	-32	178	0	-78	254	0	
300mm			152 (158)	20		204 (194)	0		250 (248)	0	
			151	20		200	0		239	0	
620°C×3h F.C.	-48	192	5	-37	161	0	-85	241	0		
		180 (188)	10		149 (174)	0		259 (253)	0		
		192	5		212	0		258	0		
As welded	-45	173	5	-47	207	0		237	0		
		172 (156)	0		189 (201)	5	-62	229 (243)	5		
		123	10		208	0		263	0		
580°C×45h F.C.	-30	128	5	-28	117	20	-67	233 (220)	0		
		154 (140)	5		140 (140)	10		233 (220)	0		
		137	15		162	10		195	25		
300mm	590°C×45h F.C.	-33	135	10	-33	71	65	-66	239	0	
			113 (114)	25		125 (127)	35		206 (217)	10	
			93	30		186	0		205	15	
	600°C×45h F.C.	-38	158	5	-27	91	20	-65	228	0	
			144 (154)	10		122 (115)	10		240 (221)	0	
			159	10		131	10		195	5	
	620°C×45h F.C.	-32	113	30	-34	169	5	-65	237	0	
			109 (112)	30		151 (146)	5		247 (248)	0	
			115	20		119	20		259	0	

() : Average value

て認可された（同時に PMS 35, 板厚 100mm 材（当社規格 KHY 35）も承認取得）。いずれも良好な母材性能をもち、加工性および溶接性にすぐれ、そのうえ経済性をも兼備しているため圧力容器に適用した場合十分効果を発揮すると考えられる。

参 考 文 献

- 1) 中・常温圧力容器用高強度鋼鋼板：WES 3 005 (1977)
- 2) 中・常温圧力容器用高強度鋼鍛鋼品：WES 3 006 (1977)
- 3) 森，大橋，鎌田，広瀬，上田，西山，嶋津，久世：川崎製鉄技報，10 (1978) 4, 280
- 4) 鋼種認定試験方法：WES 3 005, WES 3 006 (1977)