

# 耐溶接割れ性 $60\text{kgf}/\text{mm}^2$ 級調質高張力鋼 RIVER ACE 60A, 62Aの諸特性

Properties of Crack-Free Type High Strength Steel Plates RIVER ACE60A, 62A

広瀬 圭介\*

Keisuke Hirose

奥村 健人\*\*

Taketo Okumura

元田 邦昭\*\*\*

Kuniaki Motoda

平井 征夫\*\*\*\*

Yukio Hirai

鎌田 晃郎\*\*\*\*\*

Akio Kamada

## Synopsis:

A crack-resistant  $60\text{kg}/\text{mm}^2$  tensile strength steel has been developed to prevent cold cracking of welds and sulfide stress corrosion cracking which occurs at heat affected zone under a specific corrosive environment.

Cracking parameter ( $P_{CM}$ ) of this material is restricted under 0.20% by a decrease in carbon content and an addition of boron. Consequently, a plate below 38mm thickness can be welded without preheating, and sulfide stress corrosion cracking resistance is excellent because of lower maximum hardness in heat affected zone.

This report also describes general characteristics of the newly developed steel plates of 38mm and 100mm thickness.

## 1. 緒言

従来、調質高張力鋼板は母材強度、靱性、および溶接性が優れているため、圧力容器用鋼板として広く用いられてきた。とりわけ  $60\text{kgf}/\text{mm}^2$  級高張力鋼は球型タンク用材の主流をなし、多くの使用実績がある。

しかしながら球型タンクの溶接施工は大部分が現地溶接のため溶接環境が一定せず、溶接割れに対して不利な条件下での作業が避けられない。溶

接割れのトラブルを防止するため、従来は施行基準を厳しくすること、すなわち母板の高温予熱、および溶接棒の乾燥管理の徹底が行われていた。

一方、これらの施工条件の管理を厳しくすればするほど作業環境の悪化、施工コストの上昇は避けられず、耐溶接割れ特性の優れた高張力鋼板の開発に対する要望が高まった。

一方、内容物が硫化水素を含む原油やLPGの場合、高張力鋼を使用すると硫化物応力腐食割れ(S.S.C.C.)が発生しやすくなり、過去の事故例<sup>1)</sup>からもわかるようにこの面での安全性も問題とな

\* 千葉製鉄所管理部厚板管理課課長

\*\*\* 技術研究所鋼材研究室主任研究員

\*\*\*\* 技術研究所厚板研究室室長・工博

(昭和54年11月15日原稿受付)

\*\* 千葉製鉄所管理部厚板管理課副課長

\*\*\*\* 技術研究所溶接研究室主任研究員・工博

る。一般に、鋼材の強度が高くなるほど S.S.C.C. に対し敏感になるので、70kgf/mm<sup>2</sup> 鋼以上の材料は S.S.C.C. が問題となるような圧力容器への使用を避ける傾向がある。引張強さ 60kgf/mm<sup>2</sup> 級鋼の場合、母材については S.S.C.C. に対する安全性は確認されているが、球型タンクの開放検査時に溶接熱影響部や治具跡等の溶接硬化部に S.S.C.C. が観察されることがある。したがって S.S.C.C. を防止するためには溶接熱影響部の割れ感受性を抑えることがもっとも重要な点である。

以上のような観点のもとに当社で開発した耐溶接割れ特性、耐 S.S.C.C. 特性に優れた調質 60kgf/mm<sup>2</sup> 級高張力鋼について報告する。

## 2. 製造方針

耐溶接割れ特性、耐 S.S.C.C. 特性（耐溶接硬化特性）を化学成分の点から検討する場合、次式で示される炭素当量  $C_{eq}$  と溶接割れ感受性組成  $P_{CM}$  の低減が基本策となる。

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

$$P_{CM}(\%) = C + Si/30 + Mn/20 + Cu/20 + Ni/60 + Cr/20 + Mo/15 + V/10 + 5B \quad \dots\dots\dots (2)$$

Fig. 1 に  $C_{eq}$  と溶接最高硬さの関係<sup>2)</sup>を、また Fig. 2 に  $P_{CM}$  と予熱温度の関係<sup>3)</sup>を示す。最高硬さ  $H_V$  (10kg) を後述のように S.S.C.C. 防止の目的で 300 以下にするため  $C_{eq}$  を可能な限り低くおさえることと、 $P_{CM}$  を、予熱なしでも溶接割れが

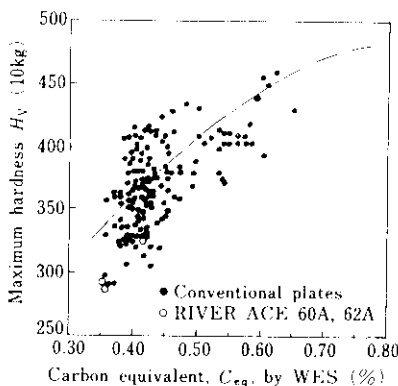


Fig. 1 Relation between carbon equivalent and maximum hardness

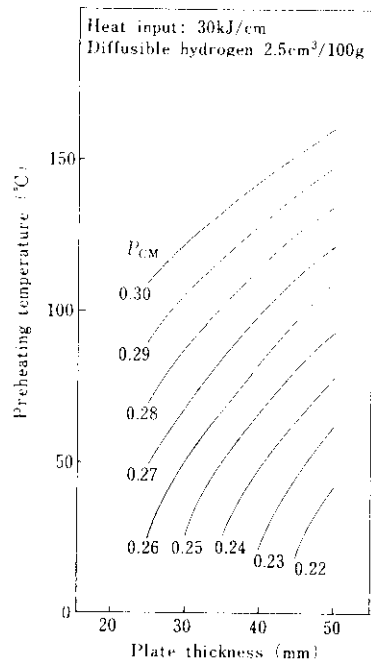


Fig. 2 Relation between plate thickness,  $P_{CM}$  and preheating temperature

発生しない 0.20% 以下にすることが重要である。

$P_{CM}$  を 0.20% 以下とするためには  $P_{CM}$  への寄与の大きい C 含有量を低めるのが何にも増して重要である。C 含有量の低下による焼入性の低下を補うものとして、極く微量の添加で効果の大きい B の使用を検討した。B 添加鋼においては、B の効果を増すために、B と化合物を作りやすい N 含有量を適量に限定し、さらに N を固定するために必要な Al 含有量を増すことが必要で、この点が溶接技術の重要管理項目となる。N, Al 含有量を適当にコントロールすれば B 含有量は 5~15ppm で十分効果が発揮される。

B 添加調質 60kgf/mm<sup>2</sup> 級高張力鋼の耐溶接割れ性を評価するために、50kg 小型鋼塊を溶製して圧延-焼入れ-焼戻しを行った後、implant 試験に供した。implant 試験は、溶接施工時の拘束された鋼材の熱サイクルによる割れや、溶接時に導入される水素による遅れ割れを良く再現するといわれる。試験結果を Fig. 3 に示すが、B を添加して  $P_{CM}$  値を低下させることにより、implant 試験における割れ発生限界応力が大幅に向上する。

また B 処理鋼で種々の溶接最高硬さが得られるように  $C_{eq}$  を変化させた 60kgf/mm<sup>2</sup> 級鋼を溶製し

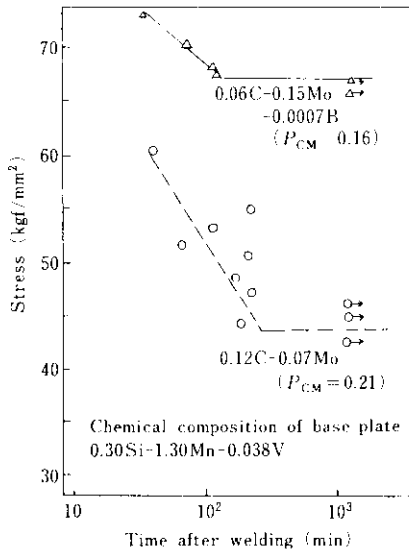


Fig. 3 Implant test results of boron bearing and boron free 60kgf/mm<sup>2</sup> steel

て圧延-焼入れ-焼戻しを行った後、Table 1 の条件で溶接継手を作成して4点曲げによる S.S.C.C. 試験を行った。Fig. 4 に4点曲げ試験片採取位置、寸法、試験方法を示した。試験は室温の0.5% CH<sub>3</sub>COOH + 飽和 H<sub>2</sub>S (2300~3300ppm) 水溶液中で行い、3週間浸漬後肉眼で割れの発生状況を

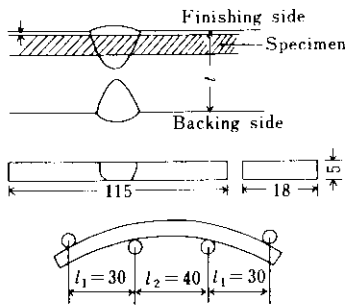


Fig. 4 Shape of specimen and loading method for S.S.C.C. test

判定した。応力はダイヤルゲージによるたわみ測定から次式を用いて計算した。

$$y = \sigma/E \cdot t \cdot \left( \frac{2}{3} l_1^2 + l_1 l_2 + \frac{1}{4} l_2^2 \right) \dots\dots\dots (3)$$

- y : たわみ
- E : ヤング率
- σ : 付加応力
- t : 板厚
- l<sub>1</sub>, l<sub>2</sub> : 支点間距離

試験結果を Fig. 5 に示す。S.S.C.C.におよぼす溶接最高硬さの影響は明瞭であり、14kJ/cm の低入熱条件下での割れ発生限界硬さは H<sub>v</sub>=270 である。実継手の場合は、応力や腐食環境が本実験条件より緩和されることを考慮して、板厚 38mm 以下の常用厚みの鋼板については、最高硬さ 300 以下を目標に成分設計を行った。

また球型タンクのノズル部には、板厚が 40mm を超える極厚鋼板が使用されることがあり、その場合は溶接後応力除去焼鈍が施されるので溶接最高硬さの低化および溶接残留応力の低下のため S.S.C.C.に対する条件は緩和される。したがって板厚の厚い範囲に対しては最高硬さ 350 以下を目標に成分設計を行った。

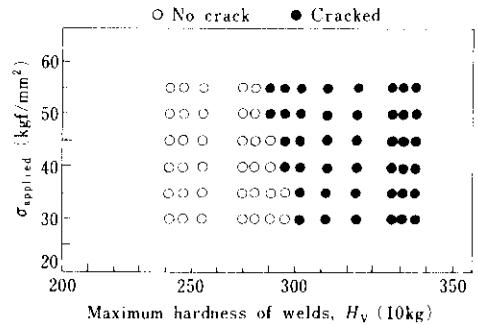


Fig. 5 S.S.C.C. test results

Table 1 Welding conditions for S.S.C.C. test

Welding rod	Shape of groove	Pass No.	Current (A)	Voltage (V)	Speed (cm/min)	Heat input (kJ/cm)	Preheat temp. (°C)
KSM 86 (4mmφ)		1, 2	170	24	17.4	14	100
		3, 4	170	24	13.5	16-18	100

## RIVER ACE 60A, 62A の特性

供試材の化学成分を Table 2 に示す。A 鋼は千葉製鉄所 90t 転がにて溶製後、板厚 38mm に圧延した。B 鋼は水島製鉄所 30t 電弧炉にて溶製後、板厚 100mm に圧延した。いずれも千葉製鉄所にて焼入れ、焼戻しを行った。焼戻し温度は、A 鋼は 620℃、B 鋼は 600℃であった。

### 3・1 母材特性

供試材の機械的性質を Table 3 に、V シャルピー試験の遷移曲線を Fig. 6 に示す。引張試験結果は RIVER ACE 62A の規格を満足し、V シャルピー

試験結果も良好な成績である。

Table 4 に応力除去焼鈍 (SR) 後、および 2%、5% 歪時効後の機械的性質を示す。SR による引張特性の低下は、A 鋼で 2kgf/mm<sup>2</sup> 程度みられたが、B 鋼はほとんど変化しなかった。SR による衝撃特性の劣化は、A 鋼ではほとんどみられず、B 鋼では遷移温度が 6~10℃ 高温側に移行した。これらの鋼材の SR による材質の劣化の程度はいずれも少ないといえ、良好な成績であった。また歪時効シャルピー試験結果では、5% 歪時効を与えても、遷移温度の変化は両鋼とも高温側に 10℃ 程度と少なく、良好な結果である。

A 鋼については、英国規格協会 (B.S.I.), DD19<sup>4)</sup> に準拠し、小型試験片による 3 点曲げ COD 試験

Table 2 Chemical compositions of steel plates tested

	Thickness (mm)	C	Si	Mn	P	S	Ni	Mo	V	B	C <sub>eq</sub>	P <sub>CM</sub>
Specification	≤38	≤0.09	0.15 ~0.55	1.20 ~2.00	≤0.030	≤0.025	≤0.75	≤0.25	0.010 ~0.080	≤0.0040	≤0.42	≤0.20
	38< ≤100	≤0.09	0.15 ~0.55	1.20 ~2.00	≤0.030	≤0.025	0.05 ~0.75	≤0.25	0.010 ~0.080	≤0.0040	≤0.46	≤0.20
Steel A	38	0.07	0.22	1.37	0.017	0.004	0.02	0.149	0.036	0.0010	0.352	0.167
Steel B	100	0.06	0.21	1.73	0.012	0.008	0.50	0.180	0.030	0.0015	0.43	0.19

Table 3 Mechanical properties of steels A and B

Tested plate	Tension test					Bend test	V Charpy test				
	YP (kgf/mm <sup>2</sup> )	T <sub>S</sub> (kgf/mm <sup>2</sup> )	Elongation				Bending radius	t (mm)	$\sqrt{E}$ (kgf·m)	$\sqrt{T_E}$ (°C)	$\sqrt{T_S}$ (°C)
Specification	RIVER ACE 60A	50≤	60~72	≤16	20≤	JIS No. 5	t<32mm 1.5t 32<t 2.0t	13<t<20	$\sqrt{E}_{7.5}$ >4.8		
				16<	28≤						
	RIVER ACE 62A	50≤	62~74	<16	19≤	JIS No. 5		20<t≤32	$\sqrt{E}_{10}$ ≥4.8		
				16<	27≤						
Plates tested	Steel A	L t/4	56.8	64.5	38	29	JIS No. 4	Good	$\sqrt{E}_{15}$ : 27.8	-65	-60
		C t/4	58.7	65.9	38	29	JIS No. 4	Good	$\sqrt{E}_{15}$ : 26.6	-73	-63
	Steel B	L t/4	54.5	63.0	100	30	JIS No. 4	Good	$\sqrt{E}_{15}$ : 23.5	44	-44
		C t/4	54.3	63.2	100	30	JIS No. 4	Good	$\sqrt{E}_{15}$ : 20.5	-49	-42

t: Plate thickness

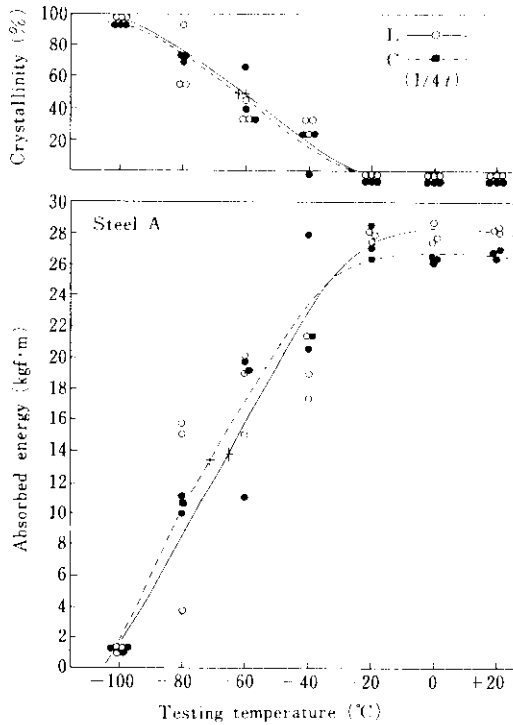


Fig. 6 V Charpy transition curve of steel A

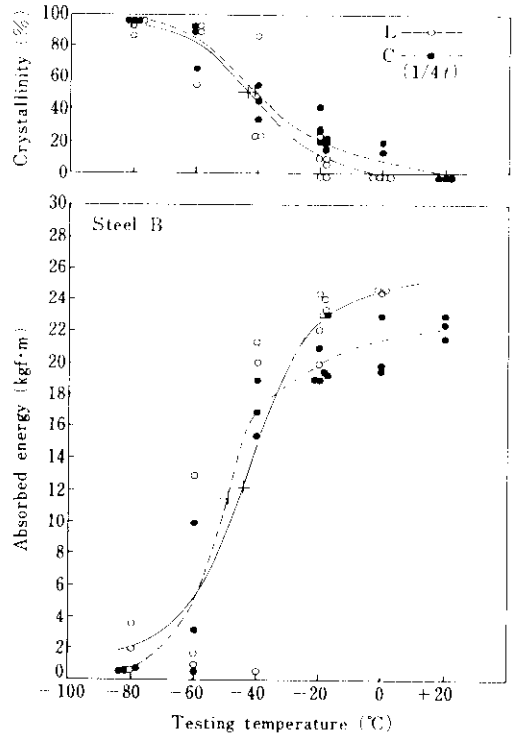


Fig. 7 V Charpy transition curve of steel B

Table 4 Mechanical properties after stress relieving and strain aging

Plate	SR condition	Tension test			V Charpy test			Strain aged condition	V Charpy test		
		YP (kgf/mm <sup>2</sup> )	TS (kgf/mm <sup>2</sup> )	EL (%)	$\sqrt{E_{15}}$ (kgf·m)	$\sqrt{T_E}$ (°C)	$\sqrt{T_S}$ (°C)		$\sqrt{E_{15}}$ (kgf·m)	$\sqrt{T_E}$ (°C)	$\sqrt{T_S}$ (°C)
Steel A, 38mm thick	575°C×1h/in	54.3	62.6	29	25.8*	65	-60	2%×250°C×1h	25.9*	-65	-60
	600°C×1h/in	54.5	62.3	29	25.9*	-63	-60	5%×250°C×1h	26.8*	-51	-53
Steel B, 100mm thick	575°C×1h/in	53.7	63.1	31	19.8	-38	-34	2%×250°C×1h	21.9	37	38
	600°C×1h/in	53.7	62.6	31	19.4	36	-35	5%×250°C×1h	22.1	34	-33

\* Tested temperature: 20°C

を行った。試験片板厚は原厚のままとし、切欠は板厚面に垂直とし、長さ 36mm の機械切欠の先端約 2mm に疲労切欠を入れた。この試験片を所定温度に冷却後 3 点曲げ試験を行い、クリップゲージによる開口変位 ( $V_c$ ) と荷重の関係を X-Y レコーダーで連続的に記録し、破壊時の限界変位 ( $V_c$ ) を求めた。また  $V_c$  から限界 COD ( $\delta_c$ ) への変換は、(4) 式に示す Wells の式<sup>4)</sup>を用いた。

$$V_c \geq 2A \text{ のとき } \delta_c = B(V_c - A)$$

$$V_c < 2A \text{ のとき } \delta_c = B \left( V_c - \frac{V_c^2}{4A} \right) \dots (4)$$

ただし、 $A = \gamma \sigma_y W(1 - \nu^2)/E$

$$B = 0.45(W - a)/(0.45W + 0.55a)$$

W: 試験片幅 (mm)

a: 亀裂長さ (mm)

$\gamma$ : 補正値

E: ヤング率 (kgf/mm<sup>2</sup>)

$\nu$ : ポアソン比

$\sigma_y$ : 試験温度 T における降伏応力 (kgf/mm<sup>2</sup>)

$\sigma_y$  は室温  $T_0$  における降伏応力  $\sigma_{y0}$  を用い次式<sup>5)</sup>から推定した。

$$\sigma_y = \sigma_{y0} \exp \left\{ (329.6 - 66.5 \ln \sigma_{y0}) \left( \frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right) \right\} \quad \dots \dots \dots (5)$$

試験結果を Fig. 8 に示す。結果の評価に当って、新しく WES の低温構造用鋼板判定基準として検討されている次式<sup>6)</sup>を用いて  $\sigma = 1/2 \sigma_{y0}$  のときの要求 COD 値  $\delta_c$  を求めた。

$$\delta_c = 1190 \exp ( - 0.0522 \sigma_s ) \sigma_s / E \quad \dots (6)$$

ここで、 $\sigma_s$  : 鋼板の保証降伏点

$E$  : ヤング率

要求 COD 値は 0.208 となり、母材の最低使用可能温度は 83°C となる。

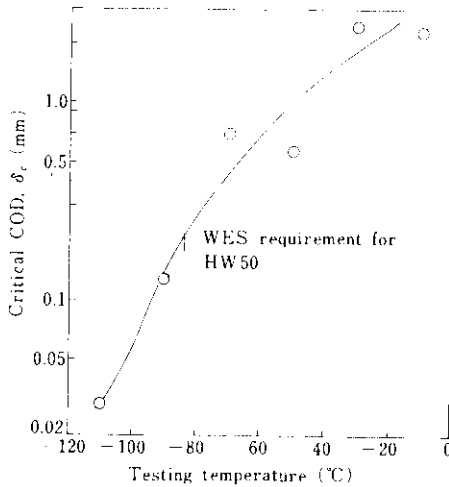


Fig. 8 COD test results of steel A

### 3-2 溶接特性

テーパ硬度試験により溶接硬化性を調査した。800°C から 500°C までの冷却時間が 7s、すなわち、540°C における冷却速度が JIS Z 3101 の溶接熱影響部の最高硬度試験に用いられる 28°C/s に一致するときの溶接部の最高硬度  $H_{max}$  を Table 5 に示す。従来、本成分系の 60kgf/mm<sup>2</sup> 級鋼の  $H_{max}$  が 360~380 であるのに比較して、本開発鋼の  $H_{max}$  は 280~330 と十分低い硬度であり、低  $C_{eq}$  化の利点が発揮されている。

斜め Y 型拘束割れ試験により溶接割れ感受性を調査した結果を Table 6 に示す。A 鋼は全く予熱の必要がなく常温での溶接が可能であり、板厚 100 mm の B 鋼も溶接割れ阻止温度 50°C と良好な結果であった。B 鋼における溶接割れは、いずれも溶接金属に発生したもので、鋼材としての溶接割れ感受性は、さらに低温側にあることが想定される。B 鋼の溶接に使用した KS 86EL は当社の開発した低水素系溶接棒、A 鋼の溶接に使用した KSA 86 は低水素系でかつ、難吸湿とした溶接棒で、施工環境が問題となるベンストック、球型タンク用溶接材料として推奨できるものである。これらの溶

Table 5 Taper hardness test result

Plate	Thickness (mm)	$H_{max}$
A	38	281
B	100	330

\*  $H_{max}$  is determined at the point where cool rate at 540°C is 27°C/s

Table 6 Results of Y groove cracking test

Plate	Welding rod	Absorbent condition	Welding atmosphere	Preheat temperature	
				RT	50°C
Steel A, 38mm thick	KSA86	As dried	27°C, 83%	○ ○	○ ○
		30°C × 86% × 1h	27°C, 83%	○ ○	○ ○
Steel B, 100mm thick	KS86EL	As dried	20°C, 60%	● ●	○ ○
				● ●	○ ○

○ No crack ● Cracked

接棒を使用した場合と一般棒を使用した場合との比較のため、他の鋼材について斜めY型拘束割れ試験を行った結果、本溶接棒は割れ阻止温度が25~50°C低温側に位置することが確認されている。

つづいて、溶接継手性能を確認するために、Table 7に示す条件で溶接継手を作成した。A鋼

は、溶接姿勢を3水準、入熱条件を12~60kJ/cmの範囲を4水準として被覆アーク溶接した。B鋼は被覆アーク溶接(入熱18kJ/cm)とサブマージアーク溶接(入熱63kJ/cm)を各1水準で実施した。試験結果をTable 8に、またボンド部のVシャルピー遷移曲線の例をFig. 9, Fig. 10に示す。継手引張試験結果は、溶接のまま(AW), SR

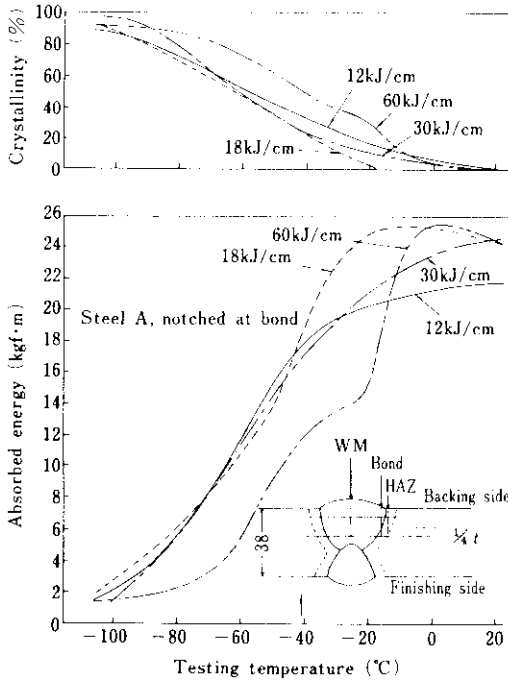


Fig. 9 V Charpy transition curve of welded joint (MAW)

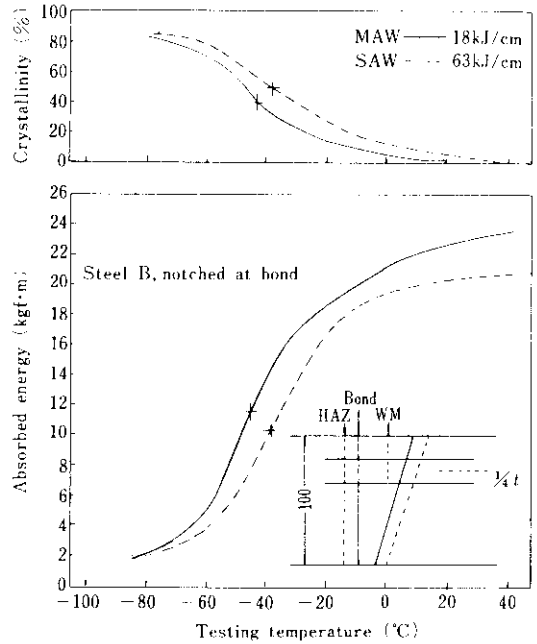


Fig. 10 V Charpy transition curve of welded joint

Table 7 Welding conditions and shape of groove for weld joint test

Plate	Welding position	Current (A)	Voltage (V)	Speed (mm/min)	Heat input (kJ/cm)	Shape of groove
Steel A, 38mm thick	Horizontal (MAW)	170 ~ 180	23	170 ~ 240	10.4 ~ 14.6	
	Flat (MAW)	240 ~ 250	24	150 ~ 200	18.0 ~ 24.0	
	Vertical (MAW)	160 ~ 170	23	60 ~ 75	31.3 ~ 39.1	
Steel B, 100mm thick	Flat (MAW)	170 ~ 175	25	120 ~ 150	17.0 ~ 20.0	
	Flat (SAW)	750	35	25	63.0	

MAW: Manual arc welding, using material of KSA86 (Steel A) or KS86EL (Steel B)  
SAW: Submerged arc welding, using materials of KW101B + KB80C

Table 8 Mechanical properties of welded joint

Plate	Heat input (kJ/cm)	Heat treatment	Tension test**					V Charpy test			
			Test piece***	YP (kgf·m)	TS (kgf·m)	El. (%)	Fracture position	Notch position	$\sqrt{E}_{20}$ (kgf·m)	$\sqrt{T_S}$ (°C)	
Steel A, 38mm thick	12	AW	A	59.8	65.7	17	BM	WM	23.2	74	
			B	-	68.7	-	BM	Bond HAZ	20.8 22.3	56 56	
		SR	A	57.8	64.9	15	BM	WM	18.1	-59	
			B	-	66.3	-	HAZ	Bond HAZ	20.0 18.3	-55 52	
	18	AW	A	59.8	65.8	18	BM	WM	16.3	-54	
			B	-	67.7	-	HAZ, BM	Bond HAZ	24.7 21.7	-61 61	
		SR	A	58.4	64.5	14	HAZ	WM	15.5	-43	
			B	-	65.6	-	BM	Bond HAZ	23.0 22.4	-66 52	
	30	AW	A	58.9	64.7	16	WM, BM	WM	18.1	46	
			B	-	65.7	-	WM	Bond HAZ	22.5 27.4	-60 -51	
		SR	A	57.8	63.4	15	WM	WM	11.0	-40	
			B	-	64.3	-	WM	Bond HAZ	18.0 21.7	55 -66	
	60	AW	A	-	64.2	14	WM	WM	9.9	-28	
			B	-	65.9	-	HAZ	Bond HAZ	14.7 13.5	-40 -33	
		SR	A	-	63.5	14	HAZ	WM	7.1	-23	
			B	-	64.1	-	WM	Bond HAZ	17.1 19.4	-43 -56	
	Steel B, 100mm thick	18	AW	A	56.2	63.1	20	BM	WM	6.4	20
				B	-	-	-	-	Bond HAZ	19.2 21.1	-43 -53
SR		A	55.7	62.6	22	BM	WM	4.6	-13		
		B	-	-	-	-	Bond HAZ	19.2 21.2	-28 -59		
63		AW	A	55.7	63.3	20	BM	WM	7.6	-26	
			B	-	-	-	-	Bond HAZ	17.6 19.4	-38 -40	
SR	A	55.3	62.9	18	BM→HAZ	WM	5.0	-14			
	B	-	-	-	-	Bond HAZ	17.3 20.1	-38 -48			

\* AW: As weld

SR: Stress relieved by keeping for 1h/in at 600°C

\*\* Average is shown of 2 tests

\*\*\* A : JIS Z 2201, No. 1 with gauge length of 200mm

B : JIS Z 3121, No. 1 with gauge length of 50mm

ともに母材規格の強度を十分満足している。Vシャルピー試験においては各溶接部とも高靱性を示し、従来の60kgf/mm<sup>2</sup>級鋼にくらべて母材の規格値 $\sqrt{E}_{15} \geq 4.8 \text{kgf}\cdot\text{m}$ を大きく上まわっている。A鋼、B鋼とも特にボンドおよびHAZの特性が優

れており、最も入熱の大きいA鋼の60kJ/cmのボンド部でも $\sqrt{E}_{20}$ で14.7kgf·mときわめて優秀な成績である。なお、SRによる脆化もほとんど生じていない。

### 3・3 溶接継手部の脆性破壊発生特性

角変形や目違い等の溶接工作誤差を含む突合せ継手あるいはT字継手の脆性破壊発生特性を調べる目的で、A鋼を用いて溶接継手を作成し、表面切欠付広幅引張試験を実施した。Fig. 11に、角変形 ( $W_0/1000$ ) や目違い ( $2W_1$ ) をもつ被覆アーク溶接突合せ継手 (入熱 20~30kJ/cm)、あるいはT字継手の表面切欠付広幅引張試験片形状、切欠部詳細を示す。タブ板に溶接した試験片を1200tテストリグに取付け、液体窒素によって所定の温度に冷却・保持した後引張り、破断荷重を測定した。Fig. 12に破壊応力の温度依存性を示す。T継手についてみると目違量の増加にともない、破壊応力-温度曲線は高温側に移行している。角変形をもつ継手の破壊応力は、切欠寸法が目違いのものより小さいので、直接は比較できない。さらにこの試験結果を  $K_c$  値により整理した。 $K_c$  値は征矢ら<sup>7)</sup>が提示した次式を用い、Fig. 11に示した表

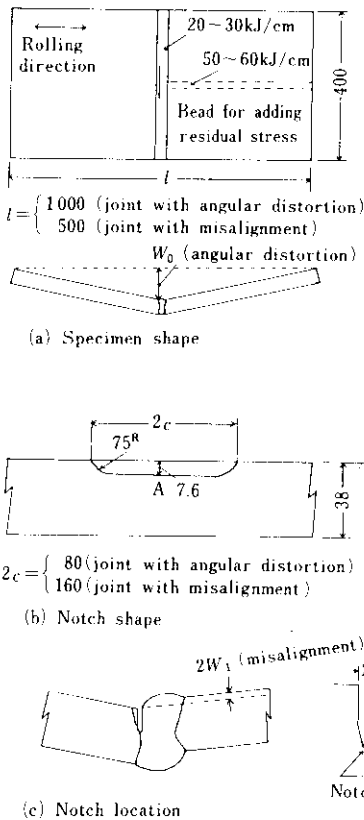


Fig. 11 Shape of wide tension test specimen

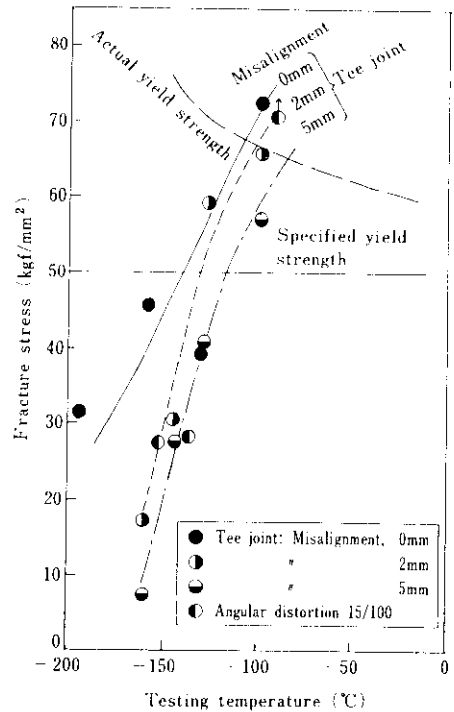


Fig. 12 Dependence of tensile fracture stress on testing temperature

面切欠の最深部A点の  $K_c$  を求めた。

$$K_c = (M_1 \cdot M_2 \sigma_t + M_3 \sigma_b) \sqrt{\pi a / \Phi}$$

ただし、

$$\Phi = \int_0^{\pi/2} |1 - (1 - a^2/c^2) \sin^2 \theta|^{1/2} d\theta \quad \dots \dots \dots (7)$$

$M_1, M_2, M_3$ : 補正係数

$\sigma_t$ : 引張応力 (kgf/mm<sup>2</sup>)

$\sigma_b$ : 曲げ応力 (kgf/mm<sup>2</sup>)

$a, 2c$ : 切欠深さおよび長さ (mm)

Fig. 13に  $K_c$  値と絶対温度  $T_k$  の逆数の関係を示す。 $\log K_c$  と  $1/T_k$  の間には負の相関が認められる。

### 3・4 溶接継手のS.S.C.C.特性

A鋼について溶接継手を作成し、先にFig. 4で示した要領で試験片を切り出して4点曲げによるS.S.C.C.試験を行った。溶接条件はTable 7のうち入熱が小さく最も硬化の著しい水平溶接 (入熱 10~14kJ/cm) を選んだ。S.S.C.C.試験結果をTable 9に示す。従来鋼に比較して耐S.S.C.C.特性が良好で、いずれの試験条件においても割れは発生していない。

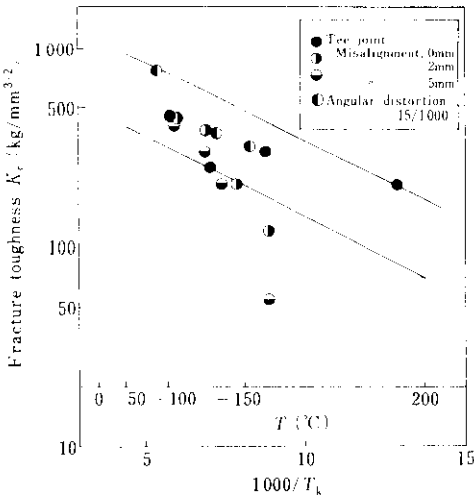


Fig. 13 Dependence of fracture toughness,  $K_{Ic}$ , on testing temperature  $T(^{\circ}C)$  or  $T_k(K)$

高張力鋼 RIVER ACE 60A, 62A の性能について述べた。その概要をまとめると次のようになる。

- (1)  $P_{CM}$  の上限を 0.20% とし、微量元素 B の添加により、板厚 100mm までの調質 60kgf/mm<sup>2</sup> 高張力鋼の製造が可能である。
- (2) 強度、靱性とも従来鋼と同等もしくはより優れた性能を有している。
- (3) 耐溶接割れ特性に優れ 38mm 以下の板厚では予熱なしでも溶接が可能である。
- (4) 溶接ボンド部および熱影響部の靱性が優れており、溶接入熱の高い範囲においてもボンド部の靱性劣化が少ない。
- (5) 破壊靱性値は、母材、溶接部共に優れた特性を有している。
- (6) 耐 S.S.C.C. 特性に優れている。

なお本鋼種は日本溶接協会より HW45, HW50 として、板厚 100mm までの製造に関する認定を得ている。

#### 4. 結 言

以上、当社の耐溶接割れ特性に優れた 60kgf/mm<sup>2</sup>

Table 9 S.S.C.C. test results of weld joints

Plate	Stress ratio (load/yield)	Concentration of H <sub>2</sub> S (ppm)			
		50	100	500	1000
Steel A RIVER ACE 62A	1.0	○ ○	○ ○	○ ○	○ ○
	0.8	○ ○	○ ○	○ ○	○ ○
	0.6	○ ○	○ ○	○ ○	○ ○
Conventional steel RIVER ACE 62	1.0	○ ○	× ×	—	× ×
	0.8	○ ○	○ ○	—	× ×
	0.6	○ ○	○ ○	—	○ ○

○ No crack  
× Cracked

#### 参 考 文 献

- 1) 堀川：鉄と鋼、54 (1968), P610
- 2) WES 135：溶接構造用高張力鋼板規格、P 22
- 3) 日本鋼構造協会技術委員会生産性分科会工作基準小委員会溶接割れ研究班：JSSC、8 (1972) 80, P22
- 4) British Standard Institute: DD19, (1974)
- 5) 日本溶接協会：「脆性破壊発生特性に基づく鋼材の判定基準の確立に関する共同研究総合報告書」(昭和50年11月)
- 6) 日本溶接協会：「ぜい性破壊発生特性に基づく低温構造用鋼板 G 種判定基準」, P 11
- 7) 征矢、柏村、荻原、佐藤、三波：日本造船学会論文集、140 (1976), 223