

タンク・圧力容器用高性能鋼板 エネルギー産業を支える溶接性に優れた高靱性高張力鋼板

High Performance Steel Plates for Tanks and Pressure Vessels —High Strength Steel Plates with Excellent Weldability and Superior Toughness for Energy Industry—

林 謙次 HAYASHI Kenji JFE スチール スチール研究所 厚板・形鋼研究部 主任研究員(副課長)
荒木 清己 ARAKI Kiyomi JFE スチール 西日本製鉄所 鋼材商品技術部厚板・鑄鍛室 主任部員(副課長)
阿部 隆 ABE Takashi JFE スチール 厚板セクター部 主任部員(副部長)・工博

要旨

エネルギー分野向けに、溶接施工性に優れた高性能 610 MPa 級高張力鋼板シリーズ(高施工型 JFE-HITEN610U2, 低温タンク用 JFE-HITEN610U2L, 大入熱溶接用 JFE-HITEN610E)を開発した。これらは、低 C, 低 P_{CM} 、溶接割れ感受性組成および B の無添加を特徴としており、マイクロアロイング技術と *Super-OLAC* (on-line accelerated cooling) を用いた直接焼入れ・焼もどしプロセスにより優れた母材および溶接継手性能を実現している。また、高い信頼性が要求される極厚鋼板に関しては、鍛造・圧延プロセスによる高品質の連続鑄造スラブ製極厚鋼板の製造技術を開発しており、圧力容器用 SQV2B や 200 mm 厚クラスの極厚材などにおいて、優れた内質健全性を実現している。これらはいずれも多くのプラントへ適用実績を有している。

Abstract:

JFE Steel has developed a series of high performance 610 MPa class HSLA steel plates with excellent weldability (consisting of JFE-HITEN610U2 with high weldability, JFE-HITEN610U2L for low temperature use and JFE-HITEN610E for high heat input welding). Excellent properties of the plates and their weldments are brought about by the microalloying technology and a direct-quenching and tempering process using *Super-OLAC* (on-line accelerated cooling), while including low C content, low P_{CM} value and free of B additive. JFE Steel has also developed a process for manufacturing heavy section steel plates with excellent internal qualities by effecting forging and plate rolling processes using continuous-cast slabs. Excellent internal properties can be obtained in the manufacture of heavy section SQV2B and 200 mm thick plates. They have actual application results to many plants.

1. はじめに

エネルギー貯蔵設備や化学プラント、発電プラントなどのエネルギー分野では、種々の鋼板が使用されている。近年、これらの設備の大型化、操業条件や使用条件の過酷化さらに建設コストの低減に繋がる施工の高効率化などにとともに、材料に対しては高強度化や溶接部靱性などの溶接部を含めた信頼性の向上、溶接施工性の向上など、ますます厳しい性能が要求されている。

当社ではこうした要求に応えるため、最新の材質設計と製造技術を駆使して溶接施工性に優れた高性能 610 MPa 級高張力鋼板シリーズ(JFE-HITEN610U2, 610U2L, 610E)を開発している¹⁾。これらは、すでにタンク、ベン

ストックなど多くの実プラントへ適用されており、溶接予熱温度の低減や溶接施工時の入熱制限の緩和など、溶接施工能率の大幅な改善を達成すると同時に、溶接部の硬化抑制や靱性改善など溶接構造物としての信頼性向上に寄与している。

また、高い信頼性の要求される極厚鋼板の製造方法に関しては、鍛造・圧延プロセスによる高品質の連続鑄造スラブ製極厚鋼板の製造技術^{2,3)}を有しており、圧力容器用鋼板などへ適用している。

本論文では、溶接施工性に優れた高性能 610 MPa 級高張力鋼板シリーズ(JFE-HITEN610U2, 610U2L, 610E)の特長と諸特性、ならびに、鍛造・圧延プロセスによる高品質の連続鑄造スラブ製極厚鋼板の製造技術とその適用例を紹介する。

2. 高性能 610 MPa 級高張力鋼板シリーズ

2.1 高性能 610 MPa 級高張力鋼板シリーズの成分設計の考え方とその製造技術

高性能 610 MPa 級高張力鋼板シリーズの特長を Table 1 に、成分設計の考え方を Fig. 1 に示す。これらの開発鋼はいずれも JIS G 3115 圧力容器用鋼板 SPV490 に適合することを前提としており、下記の特長を有している。

1) C 量、溶接割れ感受性組成 (P_{CM}) の低減および B の無添加化

溶接性の観点から、C 量を 0.09 mass% 以下に P_{CM} を 0.20 mass% 以下に低く制限するとともに、B を添加しない成分系としている。これは、世界最高の冷却速度・温度制御性を有するオンライン加速冷却装置 Super-OLAC (on-line accelerated cooling⁴⁾) の適用により可能となったものであり、従来鋼に対して予熱温度の低減 (Fig. 2) と溶接部硬さの低減 (Fig. 3) および優れた溶接部性能を実現している。

2) マイクロアロイ元素の最適活用

Super-OLAC を用いた直接焼入れ・焼もどし (DQ-T) プロセスの中でマイクロアロイ元素を活用し、変態強化や焼もどし時の微細析出強化など^{5,6)} をとおしてマイクロ組織や炭窒化物の析出を制御し、優れた強度・靱性バランスを実現している。

JFE-HITEN610U2 は、タンク、ペンストックなど幅広い用途に適用可能であり、従来鋼に比べ溶接施工性を大幅に改善した上で優れた強度・靱性を確保している。

JFE-HITEN610U2L は、610U2 をベースにさらに -50 までの低温靱性を兼ね備えた低温用高靱性鋼として開発

したものである。DQ-T プロセスの中で、さらなる材質設計の工夫と製造条件のコントロールにより、マイクロ組織の微細化を図り、高溶接施工性と -50 まで保証可能な高靱性を両立している。

また、高効率の大入熱エレクトロガスアーク溶接 (EGW)

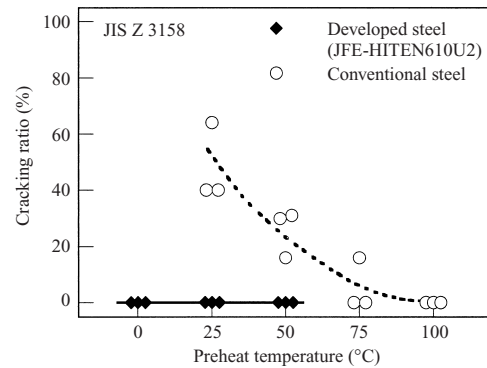


Fig. 2 Decrease of preheat temperature to avoid weld cracking of the developed steel by suppression of C and P_{CM}

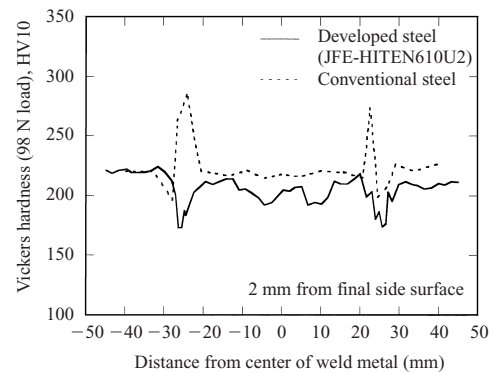
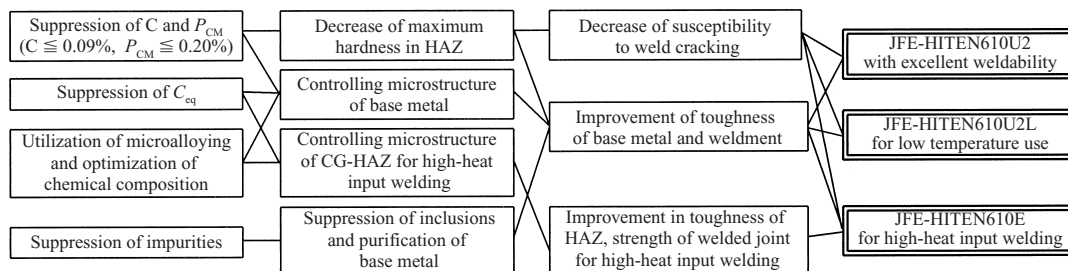


Fig. 3 Improvement of HAZ hardening in hardness distribution of the developed steel by suppression of C content and P_{CM}

Table 1 JFE Steel's high performance 610 MPa class steel plate series for pressure vessel use

Grade	Thickness, t (mm)	Feature	Typical application
JFE-HITEN610U2	6-75	Excellent weldability Superior toughness	Tank, Penstock
JFE-HITEN610U2L	6-75	Excellent weldability Superior toughness at low temperature	Spherical tank for low temperature use
JFE-HITEN610E	6-75	Excellent weldability Superior properties for high heat input welding	Oil storage tank



$C_{eq} = C + Si/24 + Mn/6 + Ni/40 + Cr/5 + Mo/4 + V/14$, $P_{CM} = C + Si/30 + Mn/20 + Cu/20 + Ni/60 + Cr/20 + Mo/15 + V/10 + 5B$, CG-HAZ: Coarse grain HAZ

Fig. 1 Alloy design concept of JFE Steel's high performance 610 MPa class steel plate series

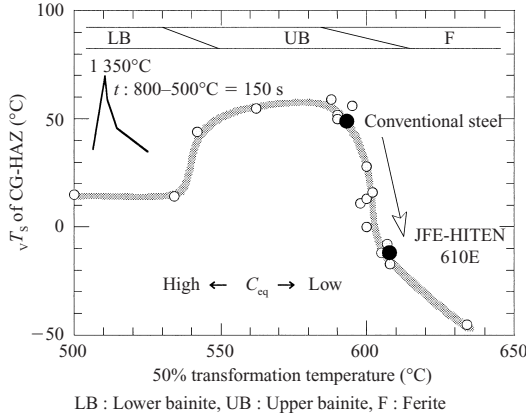


Fig. 4 Influence of microstructure and its transformation temperature on toughness (vT_s) of simulated CG-HAZ for high heat input welding

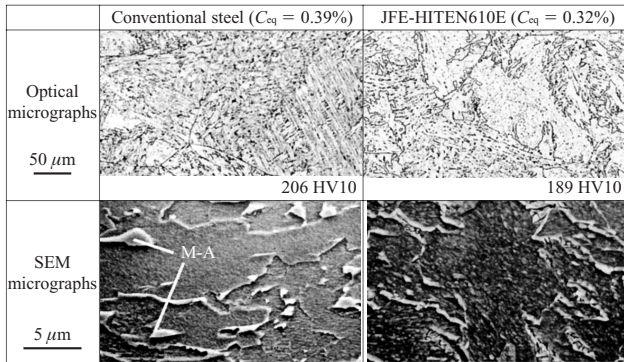


Photo 1 Microstructure of simulated CG-HAZ for high heat input welding

が適用される大型石油貯蔵タンクの側板用には、大入熱溶接時の継手強度と溶接熱影響部 (HAZ) 靱性を向上させた JFE-HITEN610E を開発している。本鋼では、610U2 の特徴に加え、大入熱溶接時の HAZ 組織において、靱性を劣化させる 550-600 で生成する上部ベイナイト組織を避ける成分設計 (Fig. 4) としており、硬質な島状マルテンサイト (M-A) の生成を抑制することによる高 HAZ 靱性化⁷⁾ を図っている (Photo 1)。また、610 MPa 以上の大入熱溶接時の継手強度を確保するため、HAZ 靱性の劣化を最

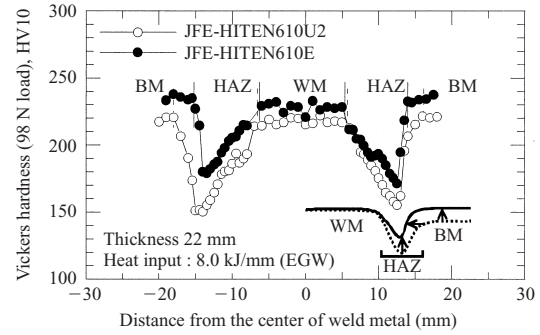


Fig. 5 Improvement of HAZ softening in hardness distribution for high heat input welding by utilization of micro-alloying

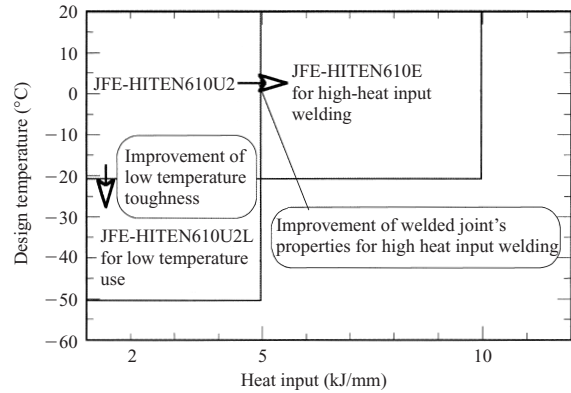


Fig. 6 Applicable design temperature and heat-input limits of the developed steels

小限に抑えた上でのマイクロアロイ元素の最適活用により、HAZ 軟化域硬さの上昇と軟化域幅の縮小 (Fig. 5) を図っており、HAZ 靱性を劣化させることなく継手強度が向上している。これにより、優れた溶接施工性と大入熱溶接継手特性の達成が両立している。

溶接入熱および設計温度の観点から判断した開発鋼の適用範囲を Fig. 6 に示す。

2.2 高性能 610 MPa 級高張力鋼板シリーズの特性

開発鋼の化学組成を Table 2 に示す。いずれも C 量を

Table 2 Chemical compositions of the developed steels

(mass%)

Grade	Thickness, t (mm)	C	Si	Mn	P	S	Others	C_{eq}	P_{CM}
JFE-HITEN610U2	38	0.08	0.21	1.34	0.006	0.001	Mo, V, etc.	0.33	0.17
	75	0.08	0.26	1.44	0.005	0.002	Mo, V, etc.	0.39	0.18
JFE-HITEN610U2L	50	0.07	0.20	1.32	0.007	0.001	Cu, Ni, Cr, Mo, V, etc.	0.41	0.19
JFE-HITEN610E	22	0.09	0.20	1.37	0.010	0.002	Mo, V, etc.	0.35	0.18
	45	0.09	0.20	1.37	0.010	0.002	Mo, V, etc.	0.35	0.18
JFE Specification 610U2, U2L, E	6-75	0.09 max.	0.15-0.55	1.00-1.60	0.020 max.	0.010 max.	Cu, Ni, Cr, Mo : 0.30 max., V : 0.06 max., Nb : 0.03 max.	0.44 max.	0.20 max.
JIS G 3115 SPV490	6-75	0.18 max.	0.15-0.75	1.60 max.	0.030 max.	0.030 max.	Alloying elements other than those listed may be added.	0.45* max.	0.28* max.

$$C_{eq} = C + Si/24 + Mn/6 + Ni/40 + Cr/5 + Mo/4 + V/14$$

$$P_{CM} = C + Si/30 + Mn/20 + Cu/20 + Ni/60 + Cr/20 + Mo/15 + V/10 + 5B$$

*50 < t ≤ 75 mm : C_{eq} : 0.47 max., P_{CM} : 0.30 max.

Table 4 Mechanical properties of JFE-HITEN610U2's SAW welded joints

Thickness, <i>t</i> (mm)	Welding condition	Tensile properties		Charpy impact properties			
		TS (MPa)	Fracture position	Position	$\sqrt{E}_{-15^\circ\text{C}}$ (J)	\sqrt{T}_S ($^\circ\text{C}$)	
75	Welding consumabl : US-40 ($\phi 4.0$)* / MF-38* Preheat : None Inter pass temperature : $\leq 150^\circ\text{C}$ Heat input : 4.6 kJ/mm PWHT : None	630	HAZ-BM	$\frac{1}{4}t$	WM	68	-32
					FL	117	-42
					HAZ	225	-59

* Supplied by Kobe Steel, Ltd.

Table 3 Mechanical properties of JFE-HITEN610U2

Thickness, <i>t</i> (mm)	Position	Direction	Tensile properties			Charpy impact properties		
			YS (MPa)	TS (MPa)	El (%)	$\sqrt{E}_{-10^\circ\text{C}}$ (J)	$\sqrt{E}_{-25^\circ\text{C}}$ (J)	\sqrt{T}_S ($^\circ\text{C}$)
38	1/4t	L	541	633	32	332	344	-67
		C	547	637	31	318	326	-63
75	1/4t	L	531	621	33	313	334	-64
		C	531	624	31	267	237	-57

SPV490 Specification : YS ≥ 490 , 610 \leq TS ≤ 740 MPa, $\sqrt{E}_{-10^\circ\text{C}} \geq 47$ J (L)

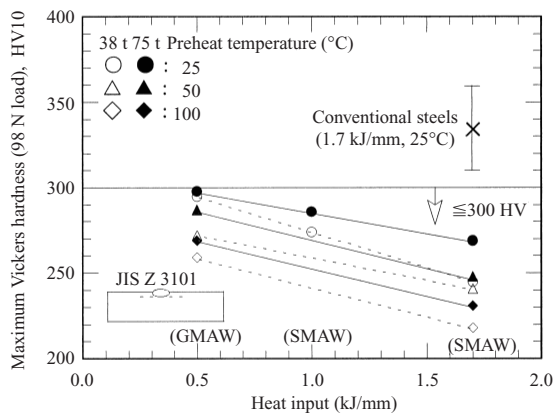


Fig. 7 Maximum hardness of JFE-HITEN610U2

0.09 mass%以下 P_{CM} を 0.20 mass% 以下に低く制御している。

2.2.1 タンク・ペンストック用の溶接施工性に優れた高張力鋼板「JFE-HITEN610U2」

JFE-HITEN610U2 の母材性能を Table 3 に示す。JIS SPV490 規格を満足する強度・靱性が得られている。

また、溶接性の特性例として最高硬さ試験結果を Fig. 7 に示す。いずれの溶接条件においてもピッカース硬さ (HV10) で 300 ポイント以下の低い HAZ 硬さが得られて

おり、従来鋼と比較して大幅に溶接部硬化性が低減している。この硬化性の低減により、溶接部の低温割れが抑制されるとともに、溶接部の耐硫化物応力腐食割れ (SSC) 感受性を低減し、従来鋼よりも良好な耐 SSC 特性が得られる。y 形溶接割れ試験 (SMAW, LB-62UI (4ϕ), 1.7 kJ/mm, 20 - 60%) を実施した結果でも、38 mm 材、75 mm 材いずれにおいても、予熱を行わない 10 の試験条件においても割れは生じておらず、極めて良好な低温割れ性を有していることが分かる。

JFE-HITEN610U2 の溶接継手性能の代表例としてサブマージアーク溶接 (SAW) 継手性能を Table 4 に示す。母材の規格を満足する十分な継手強度と高い溶接部靱性を示しており、優れた溶接継手性能を有していることが分かる。

2.2.2 低温タンク用高靱性高張力鋼板

「JFE-HITEN610U2L」

低温用途用に開発した高靱性高張力鋼板 JFE-HITEN610U2L の母材性能および被覆アーク溶接 (SMAW) 継手性能を、それぞれ Table 5、6 に示す。溶接後熱処理 (PWHT) による強度の低下は認められず、いずれも JIS SPV490 規格を十分に満足する母材および継手強度が得られている。

また、母材、溶接部ともに -50 において高い吸収工

Table 5 Mechanical properties of JFE-HITEN610U2L

Thickness, <i>t</i> (mm)	PWHT	Direction	Tensile properties			Charpy impact properties		
			YS (MPa)	TS (MPa)	El (%)	$\sqrt{E}_{-50^\circ\text{C}}$ (J)	\sqrt{T}_S ($^\circ\text{C}$)	\sqrt{T}_E ($^\circ\text{C}$)
50	-	L	569	659	29	278	-71	-75
		C	567	660	28	238	-67	-72
	580 $^\circ\text{C}$ 2 h \times 2	L	558	652	30	243	-65	-71
		C	569	660	28	198	-55	-68

Position : 1/4t

Table 6 Mechanical properties of JFE-HITEN610U2L's SMAW welded joint


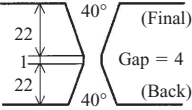
Thickness, <i>t</i> (mm)	Welding condition	Tensile properties		Charpy impact properties			
		TS (MPa)	Fracture position	Position	$\sqrt{E}_{-50^\circ\text{C}}$ (J)	\sqrt{T}_S ($^\circ\text{C}$)	\sqrt{T}_E ($^\circ\text{C}$)
50	LB-62L ($\phi 5$)* Heat input = 2.3 kJ/mm Preheat : None Inter pass temp : $\leq 150^\circ\text{C}$ PWHT : 580 $^\circ\text{C}$ \times 2 h \times 2 times	676 681	WM WM	WM	133	-63	-58
				FL	183	-63	-64
				HAZ	208	-62	-74

* Supplied by Kobe Steel, Ltd.

Table 7 Mechanical properties of JFE-HITEN610E

Thickness, <i>t</i> (mm)	Position	Direction	Tensile properties			Charpy impact properties		
			YS (MPa)	TS (MPa)	El (%)	$\sqrt{E}_{-15^{\circ}\text{C}}$ (J)	$\sqrt{E}_{-30^{\circ}\text{C}}$ (J)	$\sqrt{T_s}$ ($^{\circ}\text{C}$)
22	Full thickness	L	605	678	42	—	—	—
		C	605	677	40	358	350	< -48
45	Full thickness	L	539	638	55	—	—	—
		C	538	640	53	—	—	—
	1/4 <i>t</i>	L	526	624	30	—	—	—
		C	528	621	30	347	326	-48

Table 8 Mechanical properties of JFE-HITEN610E's EGW welded joints

Thickness, <i>t</i> (mm)	Welding condition	Tensile properties		Charpy impact properties	
		TS (MPa)	Fracture position	Position	$\sqrt{E}_{-15^{\circ}\text{C}}$ (J)
22	DWS-60G ($\phi 1.6$)* Heat input = 8.0 kJ/mm Built-up : 1 side 1 pass Preheat : None 	620	HAZ	WM	69
		623		FL	159
				HAZ	254
45	DWS-60G ($\phi 1.6$)* Heat input = 9.3, 8.5 kJ/mm Built-up : Both side 1 pass Preheat : None 	639	HAZ	WM	56
		642		FL	129
				HAZ	248

* Supplied by Kobe Steel, Ltd.

エネルギーが得られており、低温タンク用としての十分な性能を有している。

2.2.3 大入熱溶接用高張力鋼板「JFE-HITEN610E」

大入熱溶接用高張力鋼板 JFE-HITEN610E の母材および大入熱エレクトロガスアーク溶接 (EGW) 継手性能をそれぞれ Table 7 8 に示す。JIS SPV490 規格を満足する優れた母材および溶接継手性能が得られている。22 mm 材の EGW 継手性能は片面 1 パス、45 mm 材は両面 1 パスの大入熱溶接条件で得たものであり、いずれも母材の規格を満足する継手強度と -15 における良好なシャルピー衝撃特性が得られており、大型原油タンク側板用として十分な性能が得られている。

2.3 高性能 610 MPa 級高張力鋼板シリーズの実用化状況

これらの開発鋼は、(社)日本溶接協会 (JWES) の WES 3001-1996 「溶接用高張力鋼板」、WES 3009-1998 「溶接割れ感受性の低い高張力鋼板の特性」および WES 3003-1995 「低温用圧延鋼板判定基準」に規定される当該規格の鋼種認定を取得している。また、近年著しい経済発展を遂げ大型のタンクやペンストックの建設が活発化している中国においても、すでに多くの実績があり JFE-HITEN610U2、610U2L および 610E はいずれも中国ボイラ压力容器標準化技術委員会の材料評定の一般承認を取得している。

高性能 610 MPa 級鋼板は 1996 年より量産を開始し、その後、板厚拡大やさらなる高性能化を図りシリーズ化を充実させ、タンクの大型化や使用条件の過酷化に対応可能と

なっている。2000 年以降で累計 70 000 t を超える実績があり、大型のタンクやペンストックなどにおける施工性の向上や信頼性の向上に大きく貢献している。

3. 連続鋳造スラブの鍛造 - 圧延プロセス

3.1 鍛造 - 圧延プロセスの概要

極厚鋼板の製造に際し、厚板圧延前に連続鋳造スラブを鍛造する本プロセスの目的は、センターポロシティの閉鎖 - 圧着によって、鋼板の内質の健全性を高め、板厚中心位置での機械的特性を改善することにある。種々の用途への適用実績は 75 000 t 以上であり、ASTM Standard A 20/A 20M-02 および ASME Boiler and Pressure Vessel Code 2002 Addenda SA-20/SA-20M での压力容器鋼板製造に関する一般条件規定において、圧下比緩和必須プロセスの一つとして正式に認定された。

連続鋳造スラブの鍛造作業要領を Photo 2 3 に示す。小さな圧下率によりスラブ中心位置で大きな圧縮方向塑性ひずみ量を確保し、センターポロシティの圧着による特性向上を図るため、スラブ幅方向の圧下を行った後、スラブ厚さ方向を圧下する二方向鍛造圧下法を開発した。この鍛造法の実施により、310 mm 厚の連続鋳造スラブを用い、製品厚 240 mm (圧下比 : 1.29) までの内質健全性に優れた極厚鋼板を製造することが可能となった。

3.2 鍛造 - 圧延プロセスによる高張力極厚鋼板の特性

ボイラおよび压力容器の大型化にともない、使用鋼材に

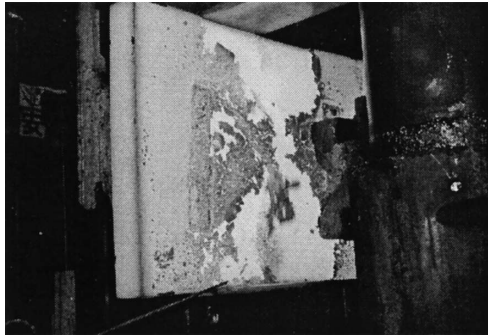


Photo 2 Forging reduction in widthwise of continuous casting slab

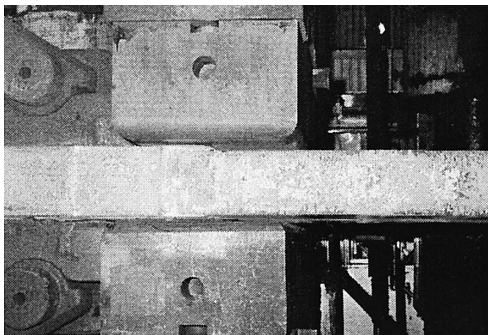


Photo 3 Forging reduction in thicknesswise of continuous casting slab

要求される板厚も大きくなり、鋼板内質の健全性はプラント自体の安全性に大きく影響することになる。以下に本製造プロセスによる高張力極厚鋼板への適用例を示す。

3.2.1 JIS G 3120 SQV2B への適用

低温韌性に優れ、原子炉その他の压力容器に用いられる JIS G 3120 SQV2B の製造結果を以下に示す。Table 9 に供試鋼板の化学組成 Table 10 に引張およびシャルピー衝撃試験結果を示す。鋼板内の長さ方向 (Top, Bottom 側) および板厚方向位置も含めた各位置での特性に大きな差はなく、十分規格値を上回っている。また Table 11 に示す板厚方向引張試験結果から分かるとおり、 $1/2t$ 位置の特性は、 $1/4t$ 位置と同等の結果が得られており、板厚中心位置の健全性と板厚方向の均質性が確保されている。

Table 12 に予歪・時効処理・PWHT 後のシャルピー衝撃試験と落重試験結果を示す。韌性レベルは、Table 10 に示した予歪のない場合と同等で、十分高位である。また、無延性遷移温度 (NDT 温度) は -33 以下の良好な値である。

破壊韌性の観点によるプラントの安全性評価として、静的破壊韌性 (K_{IC}) 試験、き裂伝播停止破壊韌性 (K_{Ia}) 試験を行った結果の例として Fig. 8 9 に $T_{RT_{NDT}}$ (RT_{NDT} : 落重試験とシャルピー衝撃試験により定まる関連温度) の関係を示す。得られたすべての破壊韌性値は、ASME の K_{IC} および K_{Ia} 曲線で得られる値を上回っている。

Table 9 Chemical compositions of SQV2B

								(mass%)
C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	
0.17	0.25	1.44	0.005	0.001	0.66	0.13	0.55	

Table 10 Mechanical properties of SQV2B

Thickness, t (mm)	Position ($1/4W$)		Tensile properties				Charpy impact properties		
			YS (MPa)	TS (MPa)	El (%)	RA (%)	$\sqrt{E}_{-12^{\circ}\text{C}}$ (J)	$\sqrt{E}_{-23^{\circ}\text{C}}$ (J)	$\sqrt{T_s}$ ($^{\circ}\text{C}$)
120	Top	$1/4t$	533	664	26	80	266	265	-62
		$1/2t$	519	653	24	79	253	227	-51
	Bottom	$1/4t$	547	678	27	81	260	237	-67
		$1/2t$	515	641	25	80	265	262	-60
Specification ($1/4t$, C)			≥ 485	620-790	≥ 16	-	Aiming: $\sqrt{E}_{-12^{\circ}\text{C}} \geq 47$		-

Plate size : 120 × 4 160 × 4 570, PWHT : 615°C × 15 h, Direction : C

Table 11 Through-thickness tensile test results of SQV2B

Thickness, t (mm)	Position ($1/4W$)		Direction	PWHT	Tensile properties			
					YS (MPa)	TS (MPa)	El (%)	RA (%)
120	Bottom	$1/4t$	Z	615°C × 15 h	520	647	22	69
		$1/2t$			524	651	22	69

Table 12 Impact and drop weight properties of SQV2B

Pre-strain (Direction)	Aging	Position ($1/4W$)		Direction	Charpy impact properties			DWT
					$\sqrt{E}_{-12^{\circ}\text{C}}$ (J)	$\sqrt{E}_{-23^{\circ}\text{C}}$ (J)	$\sqrt{T_s}$ ($^{\circ}\text{C}$)	T_{NDT} ($^{\circ}\text{C}$)
2.5% (L)	250°C × 1 h	Top	$1/4t$	C	274	277	-64	-38
			$1/2t$		276	267	-60	-33
2.5% (C)		$1/4t$	269		259	< -70	-33	
		$1/2t$	255		218	-61	-33	

PWHT : 615°C × 15 h

Table 14 Mechanical properties of HT610moderate

Thickness, <i>t</i> (mm)	Position (1/2 <i>W</i>)	Direction	Tensile properties				Charpy impact properties	
			YS (MPa)	TS (MPa)	El (%)	RA (%)	$\sqrt{E}_{0^\circ\text{C}}$ (J)	$\sqrt{E}_{-20^\circ\text{C}}$ (J)
168	Top	L	583	687	22	72	145	137
		C	583	689	22	71	167	95
		L	572	681	21	71	193	132
		C	577	687	22	67	101	96
208	Top	L	566	671	23	72	204	152
		C	564	670	23	70	145	114
		L	554	665	20	73	190	142
		C	555	670	20	70	110	98
Aiming			≥ 530	≥ 640	≥ 16	-	≥ 30	-

PWHT : 560°C × 8 h, G.L. of tensile test specimen : 5.65√*A*

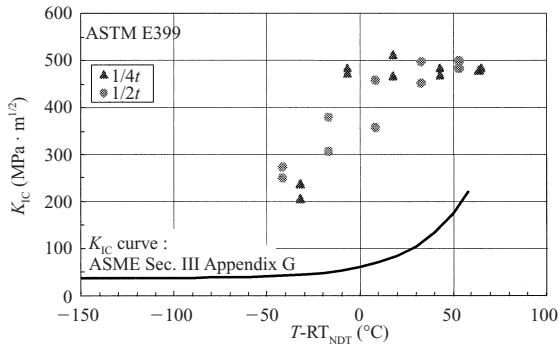


Fig. 8 Static fracture toughness properties of SQV2B

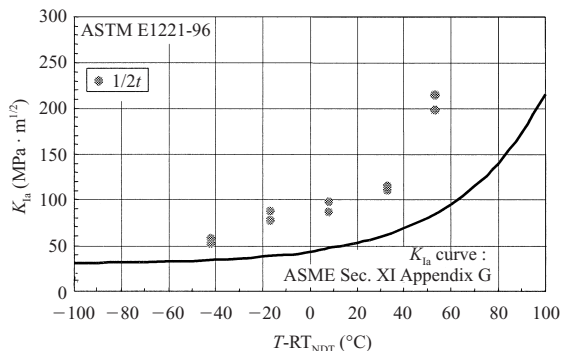


Fig. 9 Crack arrest fracture toughness properties of SQV2B

3.2.2 200 mm 厚級極厚鋼板への適用

200 mm 厚級極厚鋼板の製造結果例について以下に示す。Table 13 に供試鋼板の化学組成 Table 14 に引張およびシャルピー衝撃試験結果を示す。また、板厚方向引張試験結果を Table 15 に示す。板厚中心位置の健全性および板厚方向の均質性に関して、良好な特性を有している。

4. おわりに

高い信頼性の要求される压力容器用鋼材として開発した高性能 610 MPa 級高張力鋼板シリーズおよび高品質の極厚鋼板の製造技術について紹介した。これら高性能鋼板は、マイクロアロイング元素の活用による材質設計技術 Super-OLAC や連続鋳造スラブの鍛造・厚板圧延技術など

Table 13 Chemical composition of HT610modified

(mass%)

C	Si	Mn	P	S	Others
0.14	0.24	1.44	0.009	0.001	Cu, Ni, Cr, Mo, V, Ca

Table 15 Through-thickness tensile test results of HT610modified

Thickness, <i>t</i> (mm)	Position (1/2 <i>W</i>)	Direction	PWHT	TS (MPa)	RA (%)
168	Top	1/4 <i>t</i>	560°C × 8 h	689	69
		1/2 <i>t</i>		675	64
208	Top	1/4 <i>t</i>		672	70
		1/2 <i>t</i>		672	68

高度な鋼板製造技術の融合により達成されたものである。今後とも、本開発鋼をご採用いただき、多様なニーズに対応していく所存である。

参考文献

1. 柚賀正雄, 林謙次, 高橋和秀, 鈴木伸一, 前田尚史, 村上善明, 小嶋敏文. 溶接構造シンポジウム 2002 講演論文集. 2002, p. 303
2. 荒木清己, 郡山猛, 仲村基志. 川崎製鉄技報. vol. 30, 1998, p. 181
3. 荒木清己, 弟子丸慎一, 近藤寛, 郡山猛. 圧力技術. vol. 41, 2003, p. 20
4. 小俣一夫, 吉村洋, 山本定弘. NKK 技報. no. 179, 2002, p. 57
5. 小指軍夫. 制御圧延・制御冷却. 日本鉄鋼協会. 1997
6. 前田尚史, 大森俊道. CAMP-ISIJ. vol. 10, 1997, p. 1378
7. 村上善明, 高橋和秀, 小嶋敏文. 溶接構造シンポジウム 1996 講演論文集. 1996, p. 49



林 謙次



荒木 清己



阿部 隆