

# 大型コンテナ船用大入熱溶接対応降伏強度390MPa級鋼板

## 390 MPa Yield Strength Steel Plate for Large Heat-input Welding for Large Container Ships

皆川 昌紀<sup>\*(1)</sup> 石田 浩司<sup>\*(2)</sup> 船津 裕二<sup>\*(2)</sup> 今井 嗣郎<sup>\*(3)</sup>  
 Masanori MINAGAWA Koji ISHIDA Yuji FUNATSU Shiro IMAI

### 抄 録

コンテナ船の大型化が進む中、使用される鋼材には一層の厚手化、高強度化、大入熱溶接継手の高靱性化が求められる。その要求に応えるため、新日本製鐵では微細酸化物による溶接熱影響部組織粗大化抑制を追求したHAZ細粒高靱化技術「HTUFF®」を開発活用し、大型コンテナ船用大入熱溶接対応YP390MPa級鋼板を開発した。本鋼板は板厚65mmの立向1パスエレクトロガスアーク溶接法適用において良好な溶接継手靱性を有する。

### Abstract

Large container ships require steel plates with large thickness, high strength and high HAZ toughness. In order to satisfy these requirements, authors have developed YP390 MPa grade steel plate for large heat-input welding. HTUFF® technology was utilized in this steel which prevents austenite grain coarsening at high temperature with fine oxide particles. This plate can be used for 1 pass electro-gas-arc-welding.

### 1. 緒 言

近年設計されるコンテナ船は大型化し<sup>1,2)</sup>、それらの建造には厚さ50mm、降伏強度355MPaを超える厚手高強度であり、さらに大入熱溶接施工が可能な溶接熱影響部(HAZ)靱性を有する鋼板が使用される。

コンテナ船の大型化の背景には東南アジアの経済、産業の発展にともなう貿易量の増大、併せて韓国、中国を含めた東アジアから日欧米への海上輸送貨物(コンテナ貨物)の顕著な増加が挙げられる。そして、国際的な運賃競争の中で優位になるための対応の一つがスケールメリットを狙ったコンテナ船の大型化であり、グローバル・アライアンスによる合理化と併行して船型大型化が促進されている。コンテナ船の大型化は1980年代末までパナマ運河の最大船型という制限によって抑えられてきたが、パナマ運河を航海しない航路が開発されるのにしたがって、1990年代に入って急速に促進された。

コンテナ船には厚手高強度鋼が使用されるが、その理由には荷の積み下ろしのために上甲板部が開いている構造上の観点、並びに輸送効率(航行速度)を高めるための船体軽量化の観点の二つの側面がある。コンテナ船の船型大型化にともなって構造上の強度アップ、重量増の軽減が必要となることから、鋼板には一層の厚手化、高強度化が要求されることとなる。

さらに、建造時の工期短縮、コスト低減の必要性から、組立ての効率化が進められており、たとえば溶接施工においては立向継手を1パスで大入熱溶接するエレクトロガスアーク溶接法が採用される傾向にある。これに対して、鋼材としては溶接入熱の増大に対応で

きる溶接熱影響部(HAZ)靱性が求められるが、鋼板厚手化にともない溶接入熱は一層大きくなるため、より厳しい熱的条件下において特性を確保しなければならない。

以上の背景を踏まえ、本報では、立向1パスエレクトロガスアーク溶接法において良好な溶接継手靱性を有する厚手高強度鋼の開発について報告する。

### 2. 開発目標

開発目標を表1に示す。母材は降伏強度レベルYP390MPa級、靱性レベルEグレード、板厚65mmの厚手鋼板で、諸々の特性は船級規格に従った。溶接継手部特性については適用溶接を船体の重要構造部位であるハッチコーミングやシャーストレイキの施工に用いられる立向1パス溶接(入熱量約40kJ/mm)とし、Eグレード鋼の規格に従って-20でのシャルピー吸収エネルギーが平均値41J以上、個々値29J以上を目標とした。以上の開発目標は、新日本製鐵の従来鋼に対して板厚範囲、対応溶接入熱範囲を大きく拡大したもので、その様子を図1に示す。

表1 開発目標  
Target properties

Base metal properties				Welded joints properties			
Thickness (mm)	YP (MPa)	TS (MPa)	EI (%)	$\sqrt{E_{-40}}$ (J)	Welding method	TS (MPa)	$\sqrt{E_{-20}}$ (J)
65	390	510-650	20	41(ave.) 29(min.)	1pass VEGA	510	41(ave.) 29(min.)

<sup>\*(1)</sup> 技術開発本部 大分技術研究部  
大分県大分市大字西ノ洲1番地 〒870-0992 TEL:(097)553-2283

<sup>\*(2)</sup> 大分製鐵所 厚板管理グループ

<sup>\*(3)</sup> 本社 厚板営業部

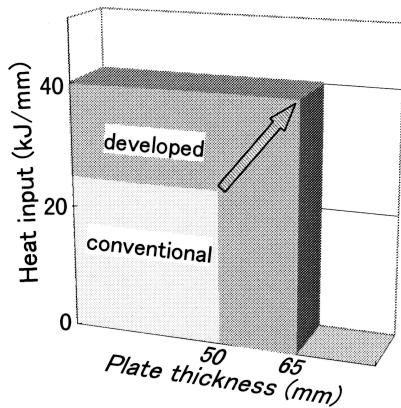


図1 開発鋼の板厚 適用入熱範囲  
Development goal

### 3. 開発思想

図2に本鋼板開発の考え方の概要を示す。鋼板において厚手、高強度、高HAZ靱性の三つの特徴を併せ持つことは容易ではない。従来、優れた溶接性を満足させつつ高強度を達成する手段として Thermo-mechanical control process (TMCP) 技術が開発され、造船用鋼をはじめとして多種の鋼板の高性能化が実現されてきた。しかしながらTMCPは主として変態強化を活用するもので、鋼板の厚手化にともない、その強化効果は低減する。したがって厚手鋼板において高強度化を図るためには最低限の強化元素の添加が必要となるが、一般的に析出強化、固溶強化に寄与する元素の添加はHAZ靱性を低下させる要因となる場合が多い。例えばC, Si, Nbなどの過度な添加はセメントタイト、島状マルテンサイトの生成やマトリクスの硬化を通じてHAZ靱性を低下させる原因となる。

高HAZ靱性化に視点を合わせると、靱性低下のミクロ組織的要因として、初期亀裂発生場所となる脆化組織と破面単位の粗大化とがあげられる。具体的な一例として、粗大なフェライト、ベイナイトに隣接して粗大なセメントタイト、島状マルテンサイトが存在したとき脆性破壊を容易にする。したがって高強度化との兼ね合いでセメントタイト、島状マルテンサイトの微細化、生成抑制を図りつつ、最も有効な高強度化を阻害せずHAZ靱性を向上させる技術としてはHAZ組織の細粒化が有効である。従来、HAZ靱性の改善を図るためのオーステナイト粒粗大化抑制にはTiNの分散が有効とされてきた<sup>3)</sup>。

しかしながらTiNは溶融部近傍の高温域では分解固溶するため、そのオーステナイト粒粗大化抑制効果が減少する。特に本鋼材のような厚鋼板を1パス溶接する場合には入熱量は著しく大きく、広範

囲のHAZが高温に長時間さらされるため、その傾向はさらに顕著となる。この課題に対し、高温でも安定な酸化物を活用したHAZ細粒高靱化技術「HTUFF (Super High HAZ Toughness Technology with Fine Microstructure Imparted by Fine Particles)」<sup>16)</sup>を開発した。本鋼板の開発において、HAZ組織細粒化を実現するためのHTUFFを基盤技術とし、脆化組織抑制のためTMCPを活用しつつ、強度、固溶N低減などを考慮したNb, Tiの最適化による成分調整も加えて実施している。

### 4. 開発鋼板の特性

#### 4.1 母材特性

開発鋼板の化学成分を表2に示す。化学成分は0.12%Cをベースとし、強度元素としてNb, Tiを微量添加している。製造にあたり低い炭素当量(Ceq)で高強度を満足すべくTMCPを利用した。開発鋼板の機械的性質を表3に示す。機械的性質は目標強度、伸びを十分に満足しており、靱性も良好である。

#### 4.2 大入熱溶接継手特性

本鋼材の大入熱溶接継手特性を評価するにあたり、2電極VEGA® (Vibratory Electro Gas Arc welding) 溶接法<sup>6-7)</sup>を適用した。本溶接法は日鐵溶接工業にて開発された立向1パス自動溶接法で、図3に示すように板厚方向に溶接トーチを2本配置し、摺動銅板側電極にフラックス入りワイヤを、裏当材側電極にソリッドワイヤを使用し、専用裏当材を用いる高能率溶接方法である。

表4に溶接条件を示す。65mm厚鋼板に入熱39kJ/mmの2電極VEGA®溶接を施し、溶接継手靱性を評価した。マクロ組織の一例を写真1に示す。

表5に継手引張試験結果を示す。十分な強度を有する母材破断である。

表2 化学成分 (mass%)  
Chemical composition

C	Si	Mn	P	S	Others	Ceq
0.12	0.28	1.40	0.009	0.003	Nb, Ti	0.36
Ceq = C + Mn/6 + (Cu + Ni)/15 + (Cr + Mo + V)/5						

表3 母材特性  
Mechanical properties

Strength class	Thickness (mm)	Tensile test			Charpy impact test
		YP (N/mm <sup>2</sup> )	TS (N/mm <sup>2</sup> )	EI (%)	$V_{ave}$ at -40 (J)
YP390	65	433	563	28	300

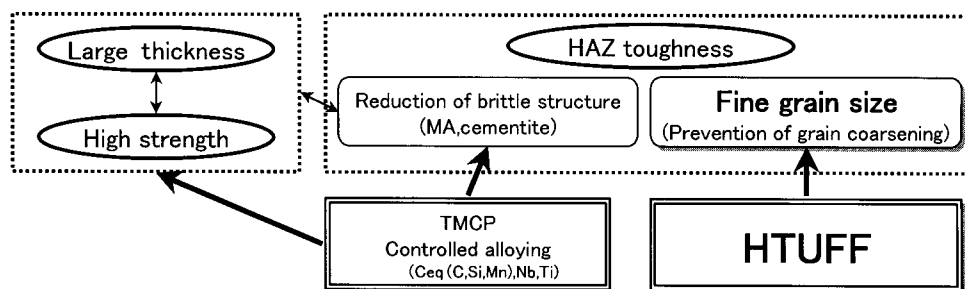


図2 大型コンテナ船用大入熱溶接対応YP390MPa級鋼板の開発思想  
Development concept of YP390 MPa steel plate for large heat-input welding

表4 2電極VEGA溶接条件  
Conditions of VEGA welding

Thickness (mm)	Groove preparation		Electrodes		Welding current (A)	Arc voltage (V)	Welding speed (mm/min)	Heat input (kJ/cm)	Shielding gas	
	Groove angle	Root gap (mm)	No.	Wire type					type	Flow rate (l/min)
65	20° V	8	1st	Flux cored wire	410	41	50	39	CO <sub>2</sub>	30-35
			2nd	Solid wire	400	40				

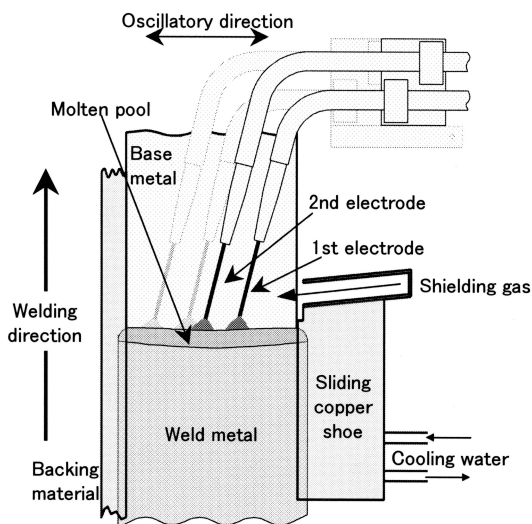


図3 2電極VEGA溶接法の概略図  
Schematic of 2P-VEGA welding

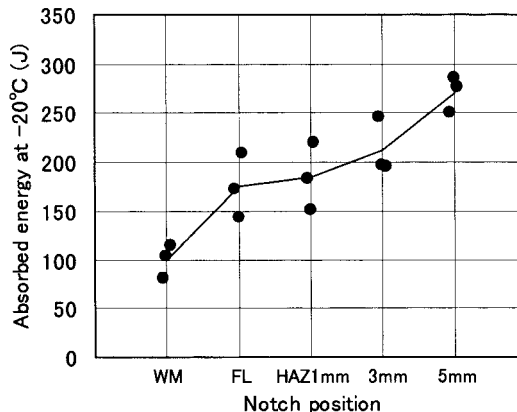


図4 2電極VEGA溶接継手靱性  
Toughness of welded joint

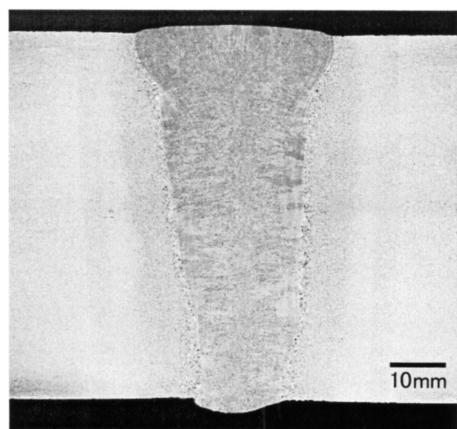


写真1 継手マクロ組織  
Macro structure of welded joint



写真2 溶接継手マイクロ組織  
Micro structure of welded joint

表5 継手引張試験結果  
Tensile test of welded joint

TS (MPa)	Fracture position
588	Mother plate

溶接継手靱性の評価はVノッチシャルピー試験、試験温度 - 20で行なった。各ノッチ位置における吸収エネルギーを図4に示す。全ての評価位置で目標靱性値を満足している。

写真2に溶接継手マイクロ組織を示す。融合部近傍においても旧オーステナイト粒の粗大化が抑制できている。

## 5. 結 言

コンテナ船の大型化に貢献し得る厚手高強度かつ大入熱溶接対応可能な新鋼材を開発した。HAZ組織細粒化を追求した微細酸化物を活用したHAZ細粒高靱化技術HTUFFを基盤技術とする本鋼材は、高能率溶接法として開発された2電極エレクトロガスアーク溶接法(立向1パスエレクトロガス溶接法)適用においても良好な継手靱性を有し、すでに上市されている。

### 参考文献

- 1) 田中豊 ほか:三菱重工技報 .34(5) 306(1997)
- 2) 長塚誠治:海事業業研究所報 .360 7(1996)
- 3) 金沢正午 ほか:鉄と鋼 .61(11) 65(1975)
- 4) 児島明彦 ほか:新日鉄技報 .(380) 2(2004)
- 5) 木本勇 ほか:溶接技術 .(12) 98(2000)
- 6) 豊原力 ほか:溶接学会全国大会講演概要 .70 38(2002)
- 7) 大北茂 ほか:溶接学会全国大会講演概要 .70 40(2002)