

解説

受賞技術-5

高い船体安全性を備え 地球温暖化防止に寄与する高強度鋼板の開発

Development of High Strength Steel Plate with Higher Resistance to Hull Destruction for Prevention of Global Warming

金子雅人 (株) 神戸製鋼所 鉄鋼事業部門
技術開発センター
Masahito Kaneko 厚板開発部厚板開発室

1 緒言

近年、地球規模での物流量の増大から船舶の大型化が進んでいるが、船体軽量化によるCO₂低減のため、高強度鋼板の採用が広がっている。一般的に造船用鋼板としては、強度の他にも溶接施工性、靱性といった特性を確保することが重要となるが、それら全てを満足するような鋼板を製造するためにはNi、Mo等の合金元素の添加が必要となり、コスト削減の観点から製造技術による達成が強く求められていた。

本開発は、これらの課題を解決した造船用鋼板最高強度クラスのYP460MPa級鋼板(図1) 製造技術の確立を行ったものである。本鋼板の採用によって、軽量化に伴うCO₂削減効果のみならず、(1) コストの低減 (2) 大入熱溶接による溶接施工の効率化 (3) 供給安定性やリサイクル性の向上といった多くのメリットが享受できる。本鋼板は、現在、国内造船メーカーで使用されているものであり、平成22年度第42回市村産業賞を受賞した。本稿では、開発技術の内容と特性について概説する。

2 開発技術

本開発技術は、高強度かつ高靱性の母材金属組織を造り込む技術と微量添加元素の最適化による大入熱溶接時の靱性劣化を防止する溶接熱影響部(HAZ: Heat Affected Zone)

	YP(MPa)	TS(MPa)	
YP315	≧315	440~590	船体構造用鋼規格
YP355	≧355	490~620	
YP390	≧390	510~650	
YP420	≧420	540~690	2ランク高強度化
YP460	≧460	570~720	

図1 船級の規格体系

組織制御技術から構成される。具体的には、①低成分でも高強度化を達成する均一強冷却が可能なTMCP (Thermo-Mechanical Control Process) 技術¹⁾、②結晶粒径微細化による高靱性を達成する多段冷却による圧延時の温度制御と圧下率の厳密制御が可能なプロメ (Plate Rolling system for Mechanical property control)²⁾ 技術、③大入熱溶接継手特性に寄与するHAZ部組織の微細化を達成するTiN微細分散技術と破壊の起点となる島状マルテンサイト(MA)を抑制する成分系を確立した。

2.1 均一強冷却を可能とするTMCP技術

従来、加速冷却では巾端部の過冷や板上面の冷却能増大による板内の不均一冷却から残留応力の発生が起り、冷却後の熱処理による残留応力除去が必要となる場合があり、それによる強度低下が問題となっていた。これに対し図2に示す

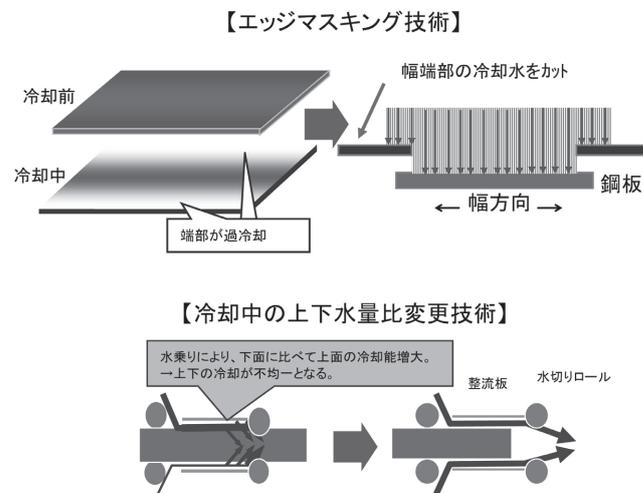


図2 均一強冷却技術の模式図

* 第42回市村産業賞(貢献賞)受賞技術

ような端部過冷を防ぐエッジマスキングや板上面の冷却能増大を防ぐ上下水量比可変技術を開発することにより、残留応力発生による問題を解決できる均一強冷却技術を実現した。

2.2 多段冷却による温度制御と圧下率制御を可能とする
圧延技術（プロメ技術）

一般に材料は、すべり変形を起こさない場合、へき開亀裂が発生し、脆性亀裂として表面エネルギーの低い結晶面に沿って進展し破壊する³⁾。そのため万一船体に亀裂が発生した時に亀裂を停止させるアレスト特性は、脆性亀裂伝播抑制効果の高い結晶方位差15°以上の大傾角粒を細粒化し、抵抗箇所を増やすことで向上すると考えられる。それには結晶粒径微細化に有効である再結晶、未再結晶温度域にて一定以上の圧下を付与することが必要条件となるが⁴⁾、厚肉材においては板厚方向の温度傾斜が大きい。そこで温度予測シミュレーションで板厚方向温度分布を予測するとともに、多段冷却の適用によって、板厚中心部が結晶粒径微細化に最適な温度域に制御された状態での圧下を可能にするプロメ技術を活用した。EBSP (Electron Back Scattering Pattern)⁵⁾ による組織観察をした結果、図3に示すように大傾角粒界径を従来の1/2以下に制御できることを確認した。

2.3 Ti窒化物の微細分散によるHAZ部の組織微細化技術

大入熱特性は成分系による影響が大きい。入熱量が40kJ/mmを超える超大入熱溶接では、HAZにおいて旧 γ 粒径が粗大化し、靱性を劣化させる。これを防止するために、図4に示す神戸製鋼所のTiNの微細分散によるHAZ組織の

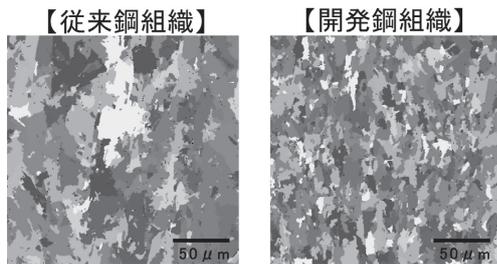


図3 従来鋼と開発鋼のEBSP組織

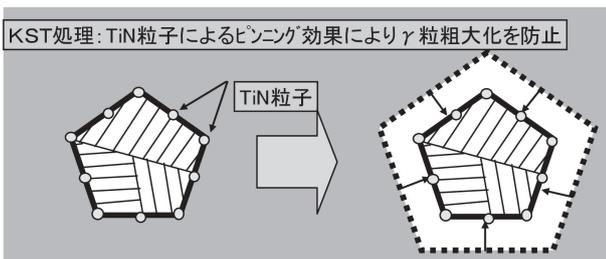


図4 TiN微細分散による γ 粒粗大化防止効果

細粒化技術であるKST (Kobe Super Toughness) 処理⁶⁾を用いた。この処理は従来のTiN技術を発展させたもので、TiNの多量分散を可能にし、かつ溶接時のTiN固溶により靱性に悪影響を及ぼす固溶N量を最小限化するTi、N量およびTi/N比に成分制御する技術である。またMA防止の観点から、強冷却の活用により強度を確保した上で、可能な限りの低C化や合金元素削減による低Ceq化を行った。その結果、図5に示すように従来鋼よりMAが低減できていることが確認できた。

3 開発鋼の性能

板厚60mmの開発鋼板を製造した。以下に開発鋼の特性を記載する。

3.1 均一強冷却による高強度化

開発鋼板の化学成分を表1に示す。2.3節の考えに基づき合金元素を削減しているため、Ceqは0.34%とYP355MPa級鋼板と同程度の低い値である。開発鋼板の母材引張特性を表2に示す。機械特性は、均一強冷却技術の適用により、低成分系にもかかわらず目標強度を満足している。

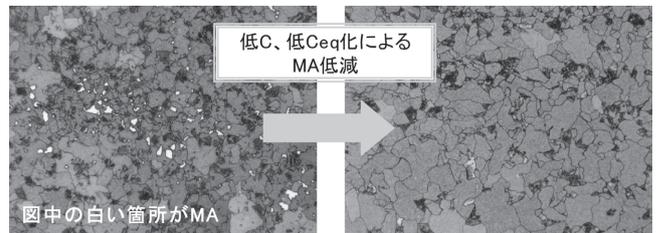


図5 低C化、低Ceq化による島状マルテンサイト(MA)生成抑制

表1 開発鋼の化学成分

	化学成分 (mass%)				その他 添加元素	Ceq
	C	Si	Mn	Ti		
開発鋼	0.08	0.13	1.54	0.011	Nb,B,Ca	0.34
YP355	0.15	0.20	1.10	-	-	0.34

$Ceq=C+Mn/6+(Cr+Mo+V)/5+(Cu+Ni)/15$

表2 開発鋼の母材引張特性

	YP (MPa)	TS (MPa)	EL (%)
開発鋼	487	582	27
YP460 spec.	≥460	570~720	≥17

※ 引張試験片形状: NK14A

3.2 組織微細化によるアレスト特性の確保

アレスト委員会設計指針にて温度勾配型脆性破壊試験 (ESSO) での最低使用温度 (-10℃) における応力拡大係数 Kca を 6000N/mm^{1.5} 以上確保することにより、安全性を確保できると報告されている⁷⁾。大傾角粒の細粒化により、表3に示すように開発鋼は7000N/mm^{1.5}以上と十分高い値を確保している。

3.3 1パス大入熱エレクトロガスアーク溶接における機械特性確保

開発鋼板の溶接条件および溶接継手特性を表4に示す。造船における実際の施工を模擬して、入熱量が42kJ/mmの1パス大入熱エレクトロガスアーク溶接を行った。継手強度は母材強度を高強度化させることにより、目標値を十分に満足している。また継手靱性においてもTiN微細分散技術とMA低減により、Vノッチシャルピー試験、試験温度-20℃において全てのノッチ位置で53J以上と良好な値を確保している。またこの1パス大入熱エレクトロガスアーク溶接が適用可能となることにより、従来鋼と比較して、溶接における工数比は1/9以下に低減することができる。

4 開発技術の効果および今後の展望

高強度化に伴う船体の軽量化を通して、低燃費化・CO₂削減が可能である。具体的には、本開発鋼板をコンテナ船の

ハッチサイドコーミングに適用することを前提とした場合、約1000トン/年・隻のCO₂削減効果が期待できる試算結果が得られている。また、本開発鋼板は①TMCP技術、②プロメ技術、③溶接部の組織制御技術を活用することによって、レアメタルであるCu、Ni、Cr、Moを添加せずに(1)コストの低減 (2)大入熱溶接による溶接施工の効率化 (3)供給安定性やリサイクル性の向上を達成することができており、今後想定されるレアメタルの入手性に左右されず、安定して供給できるものと考えられる。将来的には、本開発鋼板および製造技術を船舶以外にも橋梁、建設・運送機械、エネルギー等へ適用することにより、地球環境への更なる貢献が期待できる。

参考文献

- 金子雅人・泉学・古川直宏・安部研吾：超大型コンテナ船向け大入熱溶接用YP460MPa級厚肉鋼板の開発，R&D 神戸製鋼技報，58 (2008) 1, 39-41.
- 藤内秀人，森本禎夫，藤本雅人，島田信太郎，中西逸雄，前田恭志：厚板圧延におけるオンライン材質制御技術の開発—厚板プロメシステムの開発—材料とプロセス，14 (2001)，1040.
- 粟飯原周二：結晶粒超微細化鋼の諸特性と応用，第177回西山記念講座，日本鉄鋼協会編，(2003)，159-160.
- 金子雅人，谷徳孝：低カーボンベイナイト組織に及ぼすTMCP条件の影響，CAMP-ISIJ，22 (2009)，1315.
- 鈴木清一：まてりあ，40 (2001) 7, 612.
- 山内学：大入熱溶接用厚鋼板の進歩，R&D 神戸製鋼技報，50 (2000) 3, 39-41.
- 超大型コンテナ船の構造安全対策の検討に係る調査研究報告書，財団法人日本船舶技術研究協会，(2009)

(2011年1月13日受付)

表3 開発鋼のアレスト特性 (ESSO 試験結果)

	Kca (-10℃) (N/mm ^{1.5})
開発鋼	7400
従来鋼	3000
YP460 spec.	≥6000

表4 開発鋼の溶接条件および溶接継手特性

板厚 (mm)	溶接条件								溶接継手部機械特性				
	開先 角度 (°)	ルート ギャップ (mm)	溶接材料	パス 回数	溶接 電流 (A)	溶接 電圧 (V)	溶接 速度 (cm/min)	入熱量 (kJ/mm)	TS ^{※1} (MPa)	vE-20 ^{※2} (J)			
										板厚方向 位置	溶接金属	溶融線 (Fusion line)	FL+1mm
60	20	8	ワイヤー: DW-460L(1.2mmφ) シールドガス: CO ₂	1	400	43	2.5	42	578	表面	117	247	266
										t/2	83	131	182
										裏面	94	158	199
			YP47 spec						570 ~720		≥53 (Ave.) ≥37 (Each.)		

※1 引張試験片形状: NKU2A ※2 衝撃試験片形状: NKU4