

海洋構造物用低温仕様極厚 YP690 MPa 級鋼

YP690 MPa Class Heavy Gauge Steel Plates with Low Temperature Toughness for Offshore Structure

1. はじめに

近年の石油資源開発の活発化に伴う海洋構造物用鋼板の需要増大に対応し、JFE スチールでは、鋼材に対する厳しい要求に応えるべく鋼材の高強度化、厚肉化、低温仕様化などの高性能化を進め、海洋構造物用鋼板の商品群の拡大を図っている^{1,2)}。石油資源の開発は、氷海域、大水深へと広がりつつあり、海洋構造物の大型化、低温環境での使用に対応するため、 -40°C 以下の低温仕様かつ板厚 150 mm を超える YP (降伏点) 690 MPa 級極厚鋼板の需要が高まっている。

従来、このような低温仕様極厚高強度鋼板は、厳しい品質要求を満足するために造塊プロセスで製造する必要があったが、 casting, 分塊圧延など製造工程が煩雑で工期が長期化する欠点があった。

JFE スチールでは、製品厚が 100 mm を超えるような極厚鋼板の製造において、連続鋳造スラブを用いた鍛造-圧延プロセスを実用化しており、連続鋳造時にスラブ内部に不可避的に存在するポロシティ (空隙) を鍛造工程により圧着させ、厚板圧延後の鋼板の内質健全性と板厚方向の均質性を高める製造方法を確立し、ボイラー・圧力容器用鋼板などへの適用を進めてきた^{3,4)}。本報告では、連続鋳造 (CC)-鍛造-圧延プロセスによる低温仕様 YP690 MPa 級極厚鋼板の諸特性について紹介する。

2. 開発鋼の特長とコンセプト

2.1 適用規格

海底の石油や天然ガスを採掘する海洋構造物は、船級規格に則って製造されるのが一般的であり、至近では、板厚 150 mm 以上において、ABS 船級 / DNV 船級の Offshore 用規格を適用することが多く、これに対応する要求性能を満足する製品の開発と船級承認取得を進めてきた。表 1 に代表的な規格要求値を示す。

また、極厚材では、板厚中心の機械的特性を要求される場合があり、内質の健全性の確保が製造上の重要なポイントとなる。

表 1 YP (降伏点) 690 MPa 級鋼の適用規格と機械特性

Table 1 Specification of YP690 MPa class high strength steel plate

Grade	YS (MPa)	TS (MPa)	El (%)	vE (ave.) (J)	
AB EQ70/ DNV E690	≥ 690	770-940	≥ 14	-40°C	(L) ≥ 69 (C) ≥ 46

Specimen: $14\phi \times 70\text{GL}$

YS: Yield strength, TS: Tensile strength, El: Elongation, vE: Absorbed energy

2.2 CC-鍛造-圧延プロセスの適用による内質改善

海洋構造物用鋼板の極厚化および低温靱性要求の厳格化により、板厚中心までの内質の健全性と強度・靱性の両立が求められている。これらの要求を満足すべく、連続鋳造-鍛造-圧延プロセスを採用することとした。本プロセスは、連続鋳造スラブに鍛造工程を追加することによりポロシティを圧着させ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させることができる。本プロセスは、圧下比緩和のためのプロセスとして正式に認定され、310 mm 厚の連続鋳造スラブを用いて製品厚 180 mm (圧下比 1.72) 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。

2.3 開発鋼の特長

本開発鋼は、 $\text{YP} \geq 690 \text{ MPa}$ 、 -40°C 靱性という、高強度・低温靱性の両立が求められている。本開発鋼では、Cr, Mo などの合金元素の調整と B などのマイクロアロイ元素の添加により焼入れ性を適正化し、マルテンサイトと下部ベイナイトの混合組織とすることに加え、Ni を適量添加することにより靱性の向上を図っている。

また、加熱・圧延、熱処理 (焼入れ、焼もどし) の各温度をコントロールすることより、旧 γ 粒径を微細化することによって低温靱性を向上させており、過剰に Ni を添加することなく各規格要求値を満足する機械的性能を達成している。

これらの成分設計に加え、前述の連続鋳造-鍛造-圧延プロセスを適用し連続鋳造材のポロシティを圧着することで、造塊-圧延プロセスを採用することなく、短工期で板厚中心の内質の優れた鋼板の製造が可能となった。

3. 開発鋼の特性

と優れた低温靱性が得られている。

3.1 母材性能

開発鋼 AB EQ70/DNV E690 の板厚 155 mm および 180 mm の化学成分、機械的性質をそれぞれ表 2, 3 に示す。板厚中心 (1/2t) においてもそれぞれの規格を十分に満足する強度

3.2 開発鋼の溶接継手性能

開発鋼 AB EQ70/DNV E690 の溶接継手性能の一例として、2 種の入熱量での溶接継手の性能を表 4 に示す。いずれも、各規格の母材の規定値を満足する継手強度と高い溶

表 2 開発鋼 AB EQ70/DNV E690 の化学成分

Table 2 Chemical compositions of developed steel AB EQ70/DNV E690 (mass%)

Grade	Thickness (mm)	C	Si	Mn	P	S	others	Ceq	P _{CM}
AB EQ70/DNV E690	155	0.12	0.19	1.13	0.006	0.0005	Cu, Ni, Cr, Mo, V, Ti, B	0.74	0.31
	180	0.12	0.19	1.13	0.006	0.0005	Cu, Ni, Cr, Mo, V, Ti, B	0.75	0.31

Ceq = C + Mn/6 + Cu/15 + Ni/15 + Cr/5 + Mo/5 + V/5,
P_{CM} = C + Si/30 + Mn/20 + Cu/20 + Ni/60 + Cr/20 + Mo/15 + V/10 + 5B

表 3 開発鋼 AB EQ70/DNV E690 の機械的性質

Table 3 Mechanical properties of developed steel AB EQ70/DNV E690

Grade	Thickness (mm)	Tensile properties				Charpy impact properties		Drop weight properties
		Position, Direction	YS (MPa)	TS (MPa)	El (%)	Position, Direction	vE _{-40°C} (J)	T _{NDT} (°C)
AB EQ70/DNV E690	155	1/4t-C	745	815	19.8	1/4t-L	206	-65
		1/4t-C				1/4t-C	187	
		1/2t-C	733	814	16.2	1/2t-L	118	
	180	1/4t-C	749	821	19.3	1/4t-L	201	-60
		1/4t-C				1/4t-C	153	
		1/2t-C	739	821	17	1/2t-L	183	
					1/2t-C	222		

AB EQ70/DNV E690 Specification: YS ≥ 690, 770 ≤ TS ≤ 940 MPa, El ≥ 14%, RA ≥ 35%, vE_{-40°C} ≥ 69 J (L), 46 (C)
YS: Yield strength, TS: Tensile strength, El: Elongation, vE: Absorbed energy

表 4 開発鋼 AB EQ70/DNV E690 の溶接継手性能の一例

Table 4 Typical welded joint's mechanical properties of developed steel AB EQ70/DNV E690

Grade	Thickness (mm)	Welding procedure			Tensile properties	Charpy impact properties	
		Method	Edge preparation	Welding condition		Position	vE _{-40°C} (J)
AB EQ70/DNV E690	155	SAW		Welding consumable: US-80 LT (4.0 φ), PFH-80AK* Heat input: 50 kJ/cm	812 810	WM	108
						FL	131
		GMAW		Welding consumable: MGS-88A (1.2 φ)* Heat input: 15 kJ/cm	WM	114	
					FL	149	
	180	SAW		Welding consumable: US-80 LT (4.0 φ), PFH-80AK* Heat input: 50 kJ/cm	812 806	WM	86
						FL	133
GMAW		Welding consumable: MGS-88A (1.2 φ)* Heat input: 15 kJ/cm		WM	109		
				FL	115		
					HAZ	177	

SAW: Submerged-arc welding, GMAW: Gas-Metal arc welding
TS: Tensile strength, vE: Absorbed energy, WM: Weld metal, FL: Fusion line, HAZ: Heat affected zone

* Kobe Steel, Ltd.

接部靱性が得られており、優れた溶接継手性能を有している。

4. おわりに

連続鋳造-鍛造-圧延プロセスを活用して製造した海洋構造物用極厚鋼板として、YP690 MPa 級の板厚 180 mm までの -40℃低温靱性要求に対応する鋼板を開発した。マイクロアロイを活用した成分設計と鍛造プロセスとを組み合わせることにより、連続鋳造スラブの板厚中心の内質改善を達成するとともに、短工期で製造することを可能とした。本開発鋼は、ABS 船級および DNV 船級の承認を取得しており、JFE スチールブランドの規格同等品を含めて、既に豊富な製

造実績を有している。

石油資源の開発はまだ増加の傾向を示しており、その開発は氷海域、大水深へ広がっている。今後ますます高性能な海洋構造物用鋼板のニーズが高まっていくことが予想され、本開発鋼の適用が期待される。

参考文献

- 1) 柚賀正雄ほか. JFE 技報. 2012, no. 29, p. 41.
- 2) 一宮克行ほか. JFE 技報. 2014, no. 33, p. 19.
- 3) 荒木清己ほか. 川崎製鉄技報. 1998, vol. 30, no. 3, p. 181.
- 4) 林謙次ほか. JFE 技報. 2004, no. 5, p. 56.

〈問い合わせ先〉

JFE スチール 厚板セクター部

TEL : 03-3597-3368 FAX : 03-3597-3533

ホームページ : <http://www.jfe-steel.co.jp/products/atuita/index.html>