

厚板大単重熱処理鋼板の製造

Heat Treatment Steel Plates with Heavy Section and Large Product Weight

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・鍛造室 主任部員 (課長)
湯浅 岳則 YUASA Takenori JFE スチール 西日本製鉄所 厚板部厚板・鍛造技術室 主任部員 (副部長)
田村 雄太 TAMURA Yu-ta JFE スチール スチール研究所 圧延・加工プロセス研究部

要旨

プラント設備の大型化への対応と溶接線削減にともなう施工コスト低減やプラント自体の信頼性向上を図るため、鋼材の厚肉化、広幅化および長尺化による製品重量の大単重化、高強度化による薄肉化、低温仕様化などの需要が高まっている。JFE スチールでは、既存の熱処理炉より高温加熱が可能な台車式熱処理炉や水槽浸漬設備などを新たに稼動し、特に極厚材での特性向上に優位な鋼板熱処理：焼入れ・焼もどし材において、製品単重で約 2 倍の仕様アップとなる鋼板の製造が可能になった。また、西日本製鉄所（倉敷地区）では 120 t の大型鋼塊が製造可能な造塊プロセスや 6 000 t の加圧力を有する自由鍛造プレス機も備えており、今後も増大するエネルギー需要に対し、そのプラントに使用される厚板大単重熱処理材は、これらのプロセスを最適に組み合わせた鋼板製造によって実プラントへの適用実績を多く有している。

Abstract:

Recently, the demand for extra heavy plates (i.e., is thicker, wider, and/or longer plates), thinner plates with high tensile strength, and plates with high toughness property in low temperature is increasing to accommodate the trend of larger plant structures, to cut installation cost by reducing weld line and to improve the reliability of the plant itself. JFE Steel has started operating a new production line that consists of a batch-type heat treatment furnace and water dip tank, in which higher temperature heating is available. By taking advantage of these newly constructed facilities, JFE Steel is capable of manufacturing a quenched and tempered steel plate with improved material properties, which is approximately twice as much weight as former products. By using an ingot casting process in West Japan Works (Kurashiki District) of JFE Steel has capability of manufacturing a large ingot of 120 t and forging press of 6 000 t capacity. JFE Steel manufactures heat-treated steel plates with heavy section and large weight by the optimum combination of these processes with a number of actual plant applications and steadily respond to the demands in the energy field, which would continue to expand.

1. はじめに

近年、世界的なエネルギー需要の高まりとともに、そのプラントに使用される厚鋼板は、設備大型化への対応や溶接線削減による施工コストの低減と工期短縮のため、厚肉・広幅・長尺による製品重量の大単重化要求が強くなっている。また、高強度化による薄肉化と低温仕様化を指向したプラントの合理化設計および信頼性向上のニーズが重なり、特に極厚材の特性向上に優位な鋼板熱処理：焼入れ・焼もどし材における製品単重拡大が重要となってきた。

JFE スチールでは、LD 転炉-RH 真空脱ガス工程による高純度鋼の溶精による大型鋼塊を用い、鍛造工程を効果的

に使用した高品質極厚鋼板の製造を手掛けてきた¹⁾。一方で、省エネルギー化や製造工程納期短縮の観点より、清浄度特性に優れた垂直完全凝固曲げ型連続鑄造機製スラブを用い、センターポロシティや中心偏析の改善を目的とした鍛造-圧延プロセス^{2~5)}による極厚鋼板の製造を開始し、すでに 22 万トン以上の製造実績を有しているが、さらなる大単重化や鋼板特性の向上を目的とし、製品重量の大単重化に関するご要求に応えるべく、120 t の大型鋼塊を製造可能な造塊プロセスや 6 000 t 自由鍛造プレス機を備える西日本製鉄所（倉敷地区）内に高温熱処理が可能な台車式熱処理炉や水槽浸漬設備などを新たに稼動させ、極厚鋼板製造の一貫体制を確立した。

本論文では、新設した製造設備を用いた極厚鋼板の諸特性について紹介する。

2. 製造設備

2.1 新特厚設備

2.1.1 設備仕様

極厚・広幅・長尺化にともなう大単重熱処理材の製造に対応可能な設備仕様とした主な内容を表1に示す。台車式熱処理炉の炉内有効高さは、400 mm であり、炉内燃焼は高速ガスバーナおよびパルス燃焼を採用することで、従来熱処理炉に比べて炉内と被熱処理材の温度均一性向上を達成した。自動研磨機は、製品の表面性状を調整することが主目的であり、粗研磨用砥石も備えているのが特徴である。

極厚材の鋼板熱処理では、各鋼板のオーステナイト温度域から冷却した際の冷却速度は、板厚増加にともなって非常に小さくなることに加えて、溶接後熱処理（PWHT：Post weld heat treatment）条件が厳しくなるため、PWHT 前での良好な強度確保が必要となる。本水槽浸漬設備では、水槽直径や冷却水の供給と排水位置などを適正化することで、鋼

表 1 主要設備の仕様

Table 1 Capacity of main equipment

Equipment	Capacity
Batch type heat treating furnace	Capacity: 150 t Max. 1 050°C Effective height: 400 mm
Quenching pit	Dipping type
Surface grinder	Max. 4507mm Rough and fine whetstone
Flame cutter	Max. 4007mm

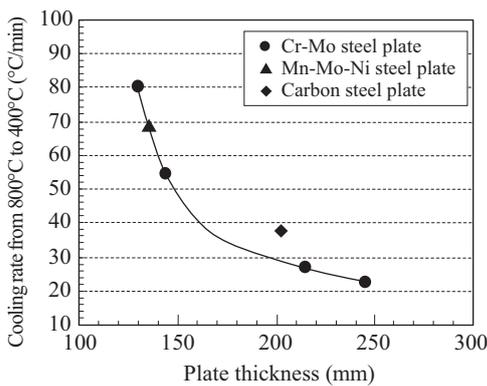


図 1 板厚中心位置の冷却速度

Fig. 1 Relation between cooling rate and plate thickness of 1/2t

板の全長・全幅において、各板厚に応じた十分に良好な冷却速度が得られるようにした。図1に各板厚中心位置における800°Cから400°Cの間の平均速度を示す。202 mm 厚（炭素鋼）の冷却速度が他の Cr-Mo 鋼や Mn-Mo-Ni 鋼に比べてやや速い結果となっている。これは極厚材の 1/2t 位置における冷却は、各鋼板の熱伝導率が支配的要因となるため、熱伝導率が比較的大きい炭素鋼板での実測による影響と思われる。

3. 適用実績

3.1 原子力用鋼板への適用

低温靱性に優れ、原子炉その他の圧力容器に用いられる JIS G 3120 (JIS：日本工業規格) SQV2A 鋼板への適用実績を以下に示す。靱性向上対策として、S 量の低減による MnS 系介在物の減少と加窒処理による AIN での細粒効果を得ることを考慮した成分設計⁶⁾とし、造塊プロセスにて鋼塊を製造した。化学組成を表2に示す。平均厚：1 228 mm の偏平鋼塊を極厚材の内質向上に優位な鍛造プレス機を用いて 320 mm 厚に圧下後、鋼塊での頭部および底部側非常部位の適切な切捨てを行って写真1に示す厚板圧延前の矩形スラブを製作した。厚板圧延にて 130 mm 厚 × 4 650 mm 幅の鋼板とした後、新設した台車式熱処理炉と水槽浸漬設備を用いて 885°C 焼入れ - 660°C 焼もどし処理を施した。

機械的特性を表3、4に示す。鋼板の頭部側と底部側、また 1/4t と 1/2t の板厚位置での特性差も少なく、規格値に対して十分良好で均質な特性を有している。図2に PWHT 前後での断面硬さ分布を示す。PWHT 温度より 35°C 高い焼もどし温度を設定していることで、PWHT 前後の硬度差も小



写真 1 造塊材による鍛造スラブ

Photo 1 Forged slab using ingot (Removed surface scale)

表 2 SQV2A 鋼の化学成分

Table 2 Chemical composition of SQV2A steel plate

									(mass%)	
C	Si	Mn	P	S	Ni	Mo	Others	Ceq	ΔG	
0.18	0.25	1.43	0.003	0.0011	0.66	0.51	Cr, N	0.591	-0.21	

$$Ceq = C + Si/24 + Mn/6 + Ni/40 + Cr/5 + Mo/4 + V/14$$

$$\Delta G = Cr + 3.3Mo + 8.1V - 2$$

表 3 SQV2A鋼の機械的特性

Table 3 Mechanical properties of SQV2A steel plate

Forged slab dimension (mm)	Product dimension (mm)	PWHT	Direction	Position	Tensile test					Charpy impact test			Fracture toughness test					
					YS (MPa)	TS (MPa)	El (%)	RA (%)	RA _Z (%)	$\sqrt{E_{-23}}$ (J)	$\sqrt{E_{-40}}$ (J)	$\sqrt{T_{TS}}$ (°C)	T _{NDT} (°C)	Pre-Strain (5.1%) Ageing T _{NDT} (°C)				
320× 3 600× 4 250	130× 4 650× 6 500	—	C	Top	1/4t	479	618	27	73	55	—	—	—	—	—			
					1/2t	494	637	25	72	62	—	—	—	—	—			
				Bottom	1/4t	491	628	28	75	—	—	—	—	—	—			
					1/2t	485	623	28	73	—	—	—	—	—	—			
				Top	1/4t	466	605	27	73	64	148	113	-31	-33	-33			
					1/2t	471	619	28	72	61	139	82	-26	-33	-28			
				Bottom	1/4t	466	607	28	74	—	—	—	—	—	—	—		
					1/2t	466	608	29	74	—	—	—	—	—	—	—		
				Specification (1/4t, C)					≥345	550-690	≥18	—	—	≥40	—	—	—	≤-12

PWHT: Post weld heat treatment YS: Yield strength TS: Tensile strength El: Elongation RA: Reduction of area
 RA_Z: Reduction of area in through thickness tensile test (Z direction) $\sqrt{E_{-23}}$: Absorbed energy at -23°C
 $\sqrt{E_{-40}}$: Absorbed energy at -40°C $\sqrt{T_{TS}}$: Charpy fracture appearance transition temperature T_{NDT}: Nil-ductility transition temperature

表 4 SQV2A 鋼の高温強度差特性

Table 4 Elevated temperature tensile property of SQV2A steel plate

Test temperature (°C)	PWHT	Direction	Position	Elevated temperature tension test			
				YS (MPa)	TS (MPa)	El (%)	RA (%)
100	625°C ×30 h	C	1/4t	443	573	22	73
			1/2t	437	565	21	73
200			1/4t	410	553	22	74
			1/2t	410	554	21	72
291			1/4t	417	572	22	73
			1/2t	418	573	21	72
360			1/4t	403	557	24	79
			1/2t	399	550	25	77
425			1/4t	381	497	25	82
			1/2t	379	490	24	80
Specification (360°C, 1/4t, C)				≥298	≥485	—	—

PWHT: Post weld heat treatment YS: Yield strength
 TS: Tensile strength El: Elongation RA: Reduction area

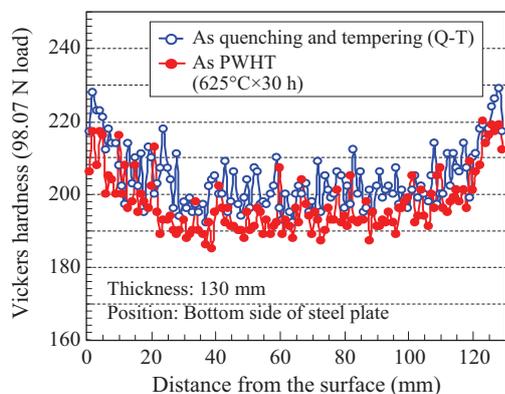


図 2 PWHT 前後での断面硬さ分布

Fig. 2 Section hardness distribution before and after post weld heat treatment (PWHT)

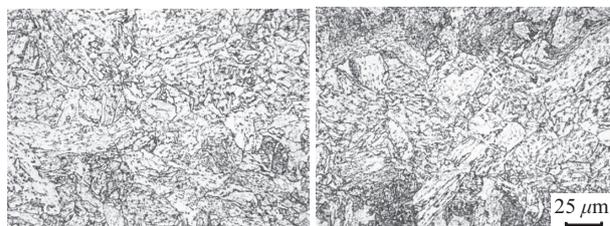
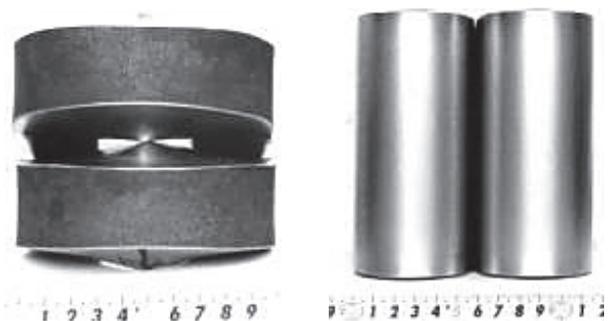


写真 2 SQV2A 鋼のミクロ組織

Photo 2 Microstructure of SQV2A steel plate



Bend test (Surface)

Side bend test (All thickness)

写真 3 曲げ試験および側曲げ試験結果

Photo 3 Results of bend test and side bend test

さくなっている。写真 2 に鋼板頭部側のミクロ組織を示す。1/4t 位置では焼もどしベイナイト組織であり、1/2t 位置の一部は成分偏析に起因する焼もどしマルテンサイト組織が見られるが、表 3 に示すとおり、低温靱性や落重特性は十分に良好であり、鋼塊での頭部側切捨て量が適切であるといえる。写真 3 に曲げ角度：180°、曲げ内側半径：20 mm に条件による表層部での曲げ試験および全厚による側曲げ試験結果を示す。いずれも湾曲部の外側には割れは認めら

れず、良好な加工性を有している。

3.2 プロセス機器用鋼板への適用

3.2.1 2.25Cr-1Mo-V 鋼

石油精整プラントの脱硫リアクター装置は、操業条件の高温-高圧化や設備の大型化による高効率化が指向されており、従来の2.25Cr-1Mo 鋼と比較して、V や Nb などの複合添加による高い高温強度と優れた耐水素侵食性を有する2.25Cr-1Mo-V 鋼⁷⁾が実用化されている。また、ASME Sec. VIII, Div.2, 2007 (ASME: The American Society of Mechanical Engineers) でのコード改定によって大幅に許容応力が高く

なり、著しい板厚低減にともなう重量軽減の設計メリットを享受できることからさらなる需要拡大が期待されている⁸⁾。

造塊プロセスにて製造した平均厚: 1 053 mm の偏平鋼塊から鍛造プレス機を用いて 385 mm 厚、重量: 32.9 t の矩形スラブを製作した。化学組成を表 5 に示す。焼もどし脆化を抑制する目的のため、Si 量低減のほか、P, Sb, As, Sn などの不純物元素を極力抑えた成分設計とし、焼もどし脆化感受性指数: *J*-factor や *x*-bar は十分に低い良好なレベルである。また、必要に応じて再熱割れ防止の観点より Ca を添加する。

厚板圧延にて 210 mm 厚 - 3 200 mm 幅、重量: 26.9 t の鋼

表 5 2.25Cr-1Mo-V 鋼の化学成分

Table 5 Chemical composition of SA-542 Type D-4a steel plate

(mass%)											
C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	V	Nb	Others	<i>J</i> -factor (%)	<i>x</i> -bar (ppm)
0.14	0.04	0.55	0.009	0.0010	2.41	1.07	0.322	0.031	Cu, Ni, Ti, B	56.7	9.8

$$J\text{-factor} = (\text{Si} + \text{Mn}) (\text{P} + \text{Sn}) \times 10^4$$

$$x\text{-bar} = (10\text{P} + 5\text{Sb} + 4\text{Sn} + \text{As}) \times 10^{-2}$$

表 6 2.25Cr-1Mo-V 鋼の機械的特性

Table 6 Mechanical properties of SA-542 Type D-4a steel plate

Forged slab dimension (mm)	Product dimension (mm)	PWHT	Direction	Position	Tensile test					Charpy impact test		
					YS (MPa)	TS (MPa)	El (%)	RA (%)	RA _Z (%)	$\sqrt{E_{-29}}$ (J)	$\sqrt{E_{-50}}$ (J)	
385× 2 145× 5 070	210× 3 200× 5 100	698°C ×7 h	C	Top	1/4t	597	710	26	77	68	—	—
					1/2t	608	721	25	75	68	—	—
				Bottom	1/4t	585	699	25	77	—	—	—
					1/2t	597	710	25	76	—	—	—
				Top	1/4t	570	688	25	78	70	192	121
					1/2t	581	702	24	76	69	87	51
		Bottom	1/4t	565	683	25	78	—	—	—		
			1/2t	568	692	25	76	—	—	—		
		712°C ×34 h	Top	1/4t	503	633	27	76	69	213	73	
				1/2t	516	644	26	75	66	153	96	
			Bottom	1/4t	502	633	26	78	—	—	—	
				1/2t	512	645	25	77	—	—	—	
Specification (1/4t and 1/2t, C)					≥415	585–760	≥18	—	—	≥55	—	

PWHT: Post weld heat treatment YS: Yield strength TS: Tensile strength El: Elongation RA: Reduction of area
 RA_Z: Reduction of area in through thickness tensile test (Z direction)
 $\sqrt{E_{-29}}$: Absorbed energy at -29°C $\sqrt{E_{-50}}$: Absorbed energy at -50°C

表 7 2.25Cr-1Mo-V 鋼の高温強度特性

Table 7 Elevated temperature tensile property of SA-542 Type D-4a steel plate

Test temperature (°C)	PWHT	Direction	Position	Elevated temp. tension test			
				YS (MPa)	TS (MPa)	El (%)	RA (%)
370	712°C×34 h	C	1/2t	435	529	20	72
435				424	506	21	75
454				421	497	21	76
482				411	479	22	76
Specification (454°C, 1/2t, C)				≥338	≥453	—	—

PWHT: Post weld heat treatment YS: Yield strength TS: Tensile strength El: Elongation RA: Reduction of area

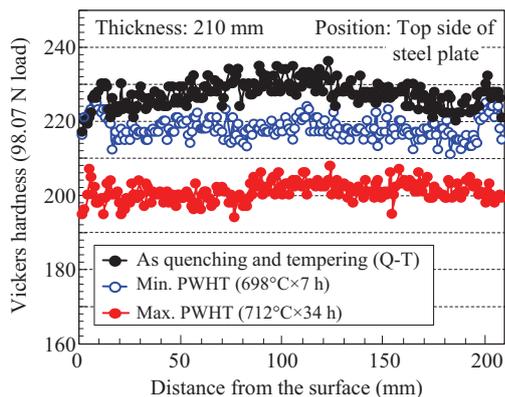


図3 PWHT 前後での断面硬さ分布

Fig. 3 Section hardness distribution before and after post weld heat treatment (PWHT)

2.25Cr-1Mo 鋼板とした後、1000℃での前熱処理を経て、1050℃焼入れ-725℃焼もどし処理を行った。機械的特性を表6、7に示す。200 mm厚超えの極厚材であり、2.25Cr-1Mo-V 鋼で要求される高温-長時間（たとえば712℃×34 h）による厳しいPWHT条件後での板厚中心位置において、常温強度の規格値および高い高温強度を得るため、既存の熱処理設備では対応できなかった1000～1050℃の高温熱処理を採用した結果、良好な強度特性が確認された。よって、板厚やPWHT条件、高温強度などに応じて、強度と靱性のバランスを考慮した適正な前熱処理と焼入れ処理の温度を設定することで、当該極厚-大単重の鋼板製造が可能となる。図3に鋼板の納入状態と想定される最短および最長PWHT条件後での断面硬さ分布を示す。高い温度（725℃）と十分な保持時間（1/2tにて1インチ（25.4 mm）あたり0.5 h以上）による焼もどし処理を施していることもあり、板厚内の硬度バラツキも小さい。また、表層下1.6 mm位置の3点の平均によるブリネル硬さは、納入状態と図3と同じPWHT条件後において各々212、203、192ポイントであった。

写真4に示す全厚のマクロ組織のとおり、明瞭な中心偏析も認められない。写真5に示すミクロ組織のとおり、均質なベイナイト組織を呈している。

3.2.2 1.25Cr-0.5Mo 鋼

高温の反応容器に使用される1.25Cr-0.5Mo 鋼は、強度の冷却速度依存性が大きく、軟質相であるフェライトが生成

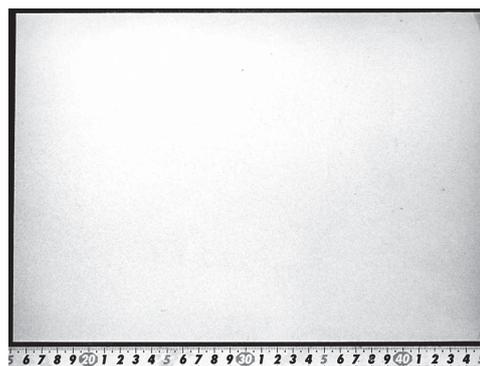


写真4 2.25Cr-1Mo-V 鋼の全厚マクロ組織

Photo 4 Macrostructure of SA-542 Type D-4a steel plate

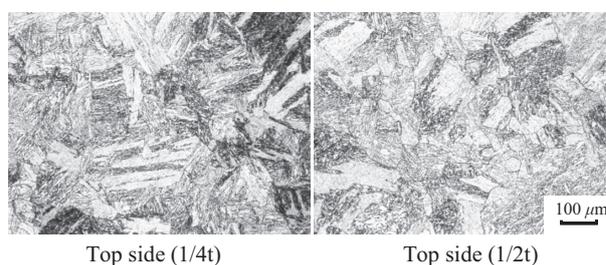


写真5 2.25Cr-1Mo-V 鋼のミクロ組織

Photo 5 Microstructure of SA-542 Type D-4a steel plate

し始める臨界冷却速度が他のCr-Mo 鋼に比べて高い⁹⁾。よって極厚材の鋼板製造では、強度と靱性の両方を確保するため、鋼板熱処理は焼入れ・焼もどし処理が必須となることが多い。

表8に示す化学組成にて造塊プロセスで製造した偏平鋼塊を分塊圧延にて385 mm厚のスラブを製作し、厚板圧延にて243 mm厚の鋼板を製造した。その後、既存の熱処理設備では対応できなかった当該板厚の焼入れ処理に関して、新たに稼動させた熱処理設備を用いて940℃焼入れ-715℃焼もどし処理を施した。機械的特性を表9に示す。想定した最長PWHT条件：691℃×20 h後において、板厚中心位置の強度も規格値を十分に満足し、シャルピー衝撃特性は0℃レベルのご要求まで問題なく製造が可能となる。

3.2.3 圧力容器用炭素鋼

シャルピー衝撃特性が比較的に優れた中・常温圧力容器用炭素鋼（ASME規格：SA-516）の鋼板製造では、炭素当量の上限が規制され、かつ100 mm厚を超えるような極厚

表8 1.25Cr-0.5Mo 鋼の化学成分

Table 8 Chemical composition of SA-387 GR. 11-2 steel plate

(mass%)									
C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Other	J-factor (%)	x-bar (ppm)
0.15	0.58	0.60	0.006	0.0007	1.42	0.61	Ni	75.5	6.7

$$J\text{-factor} = (\text{Si} + \text{Mn})(\text{P} + \text{Sn}) \times 10^4$$

$$x\text{-bar} = (10\text{P} + 5\text{Sb} + 4\text{Sn} + \text{As}) \times 10^{-2}$$

表 9 1.25Cr-0.5Mo鋼の機械的特性

Table 9 Mechanical properties of SA-387 GR. 11-2 steel plate

Rolled slab dimension (mm)	Product dimension (mm)	PWHT	Direction	Position	Tensile test					Charpy impact test			
					YS (MPa)	TS (MPa)	El (%)	RA (%)	RA _Z (%)	√E ₀ (J)	√E ₋₁₀ (J)		
420× 1 925× 4 775	243× 1 825× 7 100	—	C	Top	1/4t	435	601	30	75	74	—	—	
					1/2t	393	569	29	72	65	—	—	
		691°C ×4 h			1/4t	415	585	29	75	74	163	186	
					1/2t	383	569	30	73	73	208	120	
					691°C ×20 h	1/4t	390	559	30	75	74	136	76
						1/2t	364	549	30	76	70	89	51
Specification (1/4t and 1/2t, C)					≥310	515–690	≥22	—	—	≥33	—		

PWHT: Post weld heat treatment YS: Yield strength TS: Tensile strength El: Elongation RA: Reduction of area
RA_Z: Reduction of area in through thickness tensile test (Z direction) √E₀: Absorbed energy at 0°C √E₋₁₀: Absorbed energy at -10°C

表 10 SA-516鋼の化学成分

Table 10 Chemical composition of SA-516 GR. 70 steel plate

C	Si	Mn	P	S	Others	Ceq (%)
0.20	0.29	1.15	0.012	0.0028	Cu, Ni, Mo, V, Nb	0.454

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

表 11 非金属介在物の測定結果

Table 11 Results of microscopic test for non-metallic inclusions in steel

Method: JIS G 0555, d ₆₀ ×400 (%)							
Position		Type inclusion					
		A ₁	A ₂	B	C ₁	C ₂	Total
Top	1/4t	0.01	0	0	0	0	0.01
	1/2t	0.02	0	0	0	0	0.02

A₁: Viscous deformation (Sulphides) A₂: Viscous deformation (Silicates)

B: Granular inclusions discontinuously (Alumina, etc.)

C₁: Irregular dispersion without viscous deformation (Oxide) C₂: Irregular dispersion without viscous deformation (Carbo-nitride)

表 12 SA-516鋼の機械的特性

Table 12 Mechanical properties of SA-516 GR. 70 steel plate

Rolled slab dimension (mm)	Product dimension (mm)	PWHT	Direction	Position	Tensile test					Charpy impact test			
					YS (MPa)	TS (MPa)	El (%)	RA (%)	RA _Z (%)	√E ₀ (J)	√E ₋₂₀ (J)	√E ₋₄₀ (J)	
400× 2 150× 4 500	202× 2 300× 6 500	—	C	Top	1/4t	373	530	33	68	63	215	139	59
					1/2t	352	513	33	70	66	149	113	37
		625°C ×10 h			1/4t	361	520	34	71	68	180	136	77
					1/2t	340	503	33	71	64	166	99	40
Specification (1/4t, C)					≥260	485–620	≥21	—	—	≥28	—	—	

PWHT: Post weld heat treatment YS: Yield strength TS: Tensile strength El: Elongation RA: Reduction of area

RA_Z: Reduction of area in through thickness tensile test (Z direction)

√E₀: Absorbed energy at 0°C √E₋₂₀: Absorbed energy at -20°C √E₋₄₀: Absorbed energy at -40°C

鋼板において低温靱性が要求される場合は、鋼板熱処理：焼入れ・焼もどし処理の対応が必要となる。

表 10 に造塊プロセスにて出鋼した溶鋼の化学組成を示す。分塊圧延にて扁平鋼塊を 420 mm 厚のスラブを製作した後、厚板圧延にて 202 mm 厚 - 2 300 mm 幅の鋼板を製造

した。その後、910°C 焼入れ - 660°C 焼もどし処理を行った。

表 11 に JIS G 0555 に準拠して行った非金属介在物の調査結果を示す。1/4t 位置および 1/2t 位置とも良好な清浄度を有している。PWHT：625°C × 10 h 前後の機械的特性を表 12 に示す。1/4t 位置の特性は勿論、1/2t 位置での強度、靱

表 13 SA-516鋼の高温強度特性

Table 13 Elevated temperature tensile property of SA-516GR.70 steel plate

Test temperature (°C)	PWHT	Direction	Position	Elevated temp.tension test			
				YS (MPa)	TS (MPa)	El (%)	RA (%)
225	625°C ×10 h	C	1/4t	284	473	28	70
			1/2t	324	518	27	58
300			1/4t	283	499	27	65
			1/2t	329	546	23	50
350			1/4t	270	491	33	72
			1/2t	318	527	27	64
Specification (300°C, 1/4t, C)				≥175	—	—	—

PWHT: Post weld heat treatment YS: Yield Strength TS: Tensile Strength El: Elongation RA: Reduction of area

性も規格値を十分に満足する良好な結果が得られている。

鋼板底部側より採取した試材を用いて行った高温強度特性の結果を表13に示す。良好な特性を有していることが分かる。

4. おわりに

厚板大単重熱処理鋼板の製造に関するJFEスチールの現状を紹介した。大型鋼塊の製造プロセスと自由鍛造プレス機のほか、高温仕様の台車式熱処理炉や水槽浸漬設備などの設備を組み合わせることによって、いずれも優れた鋼板内部品質と安定した機械的特性を有する鋼板製造が可能である。また、鍛造工程を付与した極厚矩形鋼板を前提にした鍛鋼品規格の対応も可能となり、大単重熱処理鋼板の適用拡大に関して、今後大いに活用が期待されるものである。

参考文献

1) 楠原祐司, 黒田建三, 関根稔弘, 難波明彦, 岡野忍. 川崎製鉄技報. 1980, vol. 12, no. 1, p. 18-26.
 2) 荒木清己, 郡山猛, 仲村基志. 川崎製鉄技報. 1998, vol. 30, no. 3, p. 57-61.

3) 荒木清己, 弟子丸真一, 近藤寛, 郡山猛. 圧力技術. 2003, vol. 41, no. 4, p. 168-175.
 4) 林謙次, 荒木清己, 阿部隆. JFE技報. 2004, no. 5, p. 56-62.
 5) 荒木清己, 堀江正之, 大坪浩文, 和田典巳. 火力原子力発電. 2009, 平成20年度論文集, p. 181-187.
 6) 楠原祐二, 腰塚典明, 関根稔弘, 榎並禎一, 田中康浩, 小林英司, 齊藤達. 川崎製鉄技報. 1980, vol. 12, no. 1, p. 41-51.
 7) 林謙次, 国定泰信. 配管技術. 2001-02, p. 36-41.
 8) 辻輝夫, 岩男義明. Hitz技報. 2011, vol. 72, no. 1, p. 18-28.
 9) 佐藤新吾, 松居進, 榎並禎一, 朝生一夫, 谷豪文, 小林英司. 川崎製鉄技報. 1980, vol. 12, no. 1, p. 101-114.



荒木 清己



湯浅 岳則



田村 雄太