
4400t プレスの概要と大径シェルリングの製造

Outline of 4400t Press and Manufacture of Large Forged Shell Rings

高田 政記(Masaaki Takada) 和中 宏樹(Hiroshige Wanaka) 朝生 一夫(Kazuo Asoh)
荒川 幸雄(Yukio Arakawa) 蓑 宏之(Hiroyuki Mino) 難波 明彦(Akihiko Nanba)

要旨：

各種産業用設備の大形化，高品質化に対処するため既設 6000t プレスの製造可能範囲をこえる大型シェルリング，広幅板状品の仕上铸造用として当社独自の基本構想による 4400t プレスを設置した。また，同時に付帯設備の充実を行い大型中空鋼塊製造技術の確立とあわせて大型シェルリングの製造体制が整った。さらに大型中空鋼塊を用いたシェルリングの試作確性を実施し，内部性状，機械的性質についてあらゆる部分で調査を行い均質でかつ要求特性を十分満足する結果を得た。これにより原子炉压力容器ならびに化工機用大型シェルリングを安定して製造することが可能となった。

Synopsis：

A unique 4400-ton hydraulic press has been installed in Mizushima Works in order to provide larger shell rings and wider forged plates. The new press based on Kawasaki Steel's original idea forges the shell rings with the outside diameter up to 8.5 m. By using new equipment and large hollow ingot up to 320 tons, forged shell rings have been made available for the reactor pressure vessels of nuclear power plants and oil refinery plants. Experimentally manufactured shell rings showed a uniform distribution of chemical composition and mechanical properties, thus suggesting their suitable application for pressure vessels.

(c)JFE Steel Corporation, 2003

本文は次のページから閲覧できます。

4 400t プレスの概要と大径シェルリングの製造 Outline of 4 400t Press and Manufacture of Large Forged Shell Rings

高田 政記*
Masaki Takada

和中 宏樹**
Hiroshige Wanaka

朝生 一夫***
Kazuo Asoh

荒川 幸雄****
Yukio Arakawa

養 宏之*****
Hiroyuki Mino

難波 明彦*****
Akihiko Nanba

Synopsis:

A unique 4 400-ton hydraulic press has been installed in Mizushima Works in order to provide larger shell rings and wider forged plates. The new press based on Kawasaki Steel's original idea forges the shell rings with the outside diameter up to 8.5 m.

By using new equipment and large hollow ingot up to 320 tons, forged shell rings have been made available for the reactor pressure vessels of nuclear power plants and oil refinery plants. Experimentally manufactured shell rings showed a uniform distribution of chemical composition and mechanical properties, thus suggesting their suitable application for pressure vessels.

1. 緒 言

昨今、各種産業用設備は、効率の面から大型化を指向するとともに信頼性工学の立場から高品質の要求が厳しくなっている。このような時代の要求に対応して使用鋼材に大型鍛鋼品を適用する傾向が強くなっている。なかでも発電用原子炉に使用する軽水炉の圧力容器、石油化学設備の代表である脱硫リアクター、さらに石炭ガス化、石炭液化用圧力容器材は、従来の鋼板製から鍛鋼品への転換が進みつつある。これらに用いる圧力容器は、効率向上等の目的から直径4.5~7.5m、肉厚150~400mm¹⁾程度となるため素材供給者は、この要求に対処できる製造設備および製造技術を確立

することが必要である。当社でも西独 Hydraulic 社製6 000t自由鍛造プレスの主設備とし対処してきた^{2,3)}。さらに、昭和51年には中空鋼塊製造技術を確立し、現在、320tまでの大型中空鋼塊の製造が可能である。このような背景にもとづき、6 000tプレスの製造可能範囲をこえる大径シェルリング、広幅厚鋼板の仕上鍛造設備である4 400tプレスをはじめ加熱炉、熱処理炉等を新設した。本プレスは、当社独自の構想にもとづく新形式のプレスである。以下これら新設備の概要およびシェルリング試作状況について報告する。

2. 主要新設備の特徴

沸騰水型1 100MWe原子炉、および化工機関係

* 水島製鉄所鑄鍛部鑄鍛管理室主査（掛長）
*** 水島製鉄所鑄鍛部鑄鍛管理室主査（課長補）
***** 水島製鉄所製鋼部製鋼技術室主査（課長）
〔昭和57年6月29日原稿受付〕

** 水島製鉄所鑄鍛部鑄鍛管理室主査（部長）
**** 水島製鉄所鑄鍛部鑄鍛管理室主査（課長補）
***** 水島製鉄所製鋼部製鋼技術室主査（課長補）

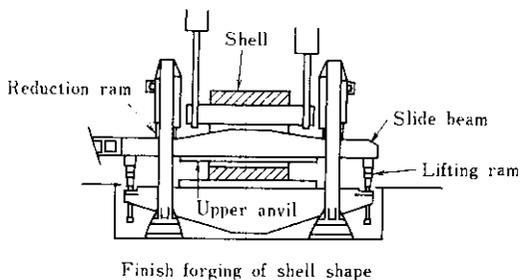
設備用反応容器に使用する大径シェルリング、広幅厚鋼板の仕上鍛造専用として4 400t プレスを設置した。また、付帯設備として大型加熱炉の新設、熱処理炉、焼入水槽の改造、および機械加工設備を増設した。この設備増強後の大径シェルリング製造可能範囲を Fig. 1 に示す。以下主要設備の特徴について述べる。

2-1 4 400t プレス

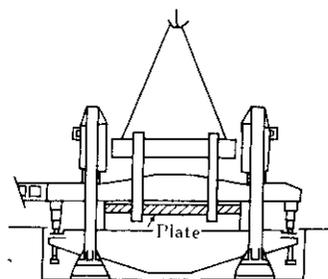
このプレスは大別してサイドハウジング、ベッド、クロスヘッドに相当するスライドビームから構成されている新形式のプレスであり、6 000t プレスにて荒鍛造した大径シェルリング、広幅厚鋼板を仕上鍛造する。

2-1-1 構造および機能

4 400t プレスを使用してのシェルリング、広幅厚鋼板の鍛造法を Fig. 2 に、シェルリング鍛造状況を Photo. 1 に示す。このプレスは、下

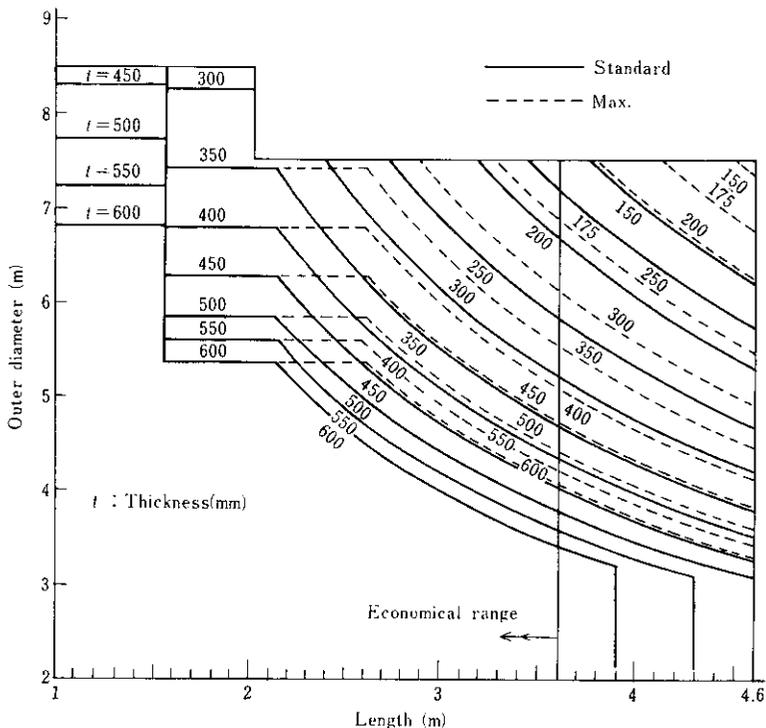


Finish forging of shell shape



Finish forging of plate shape

Fig. 2 Finish forging of shell ring and plate shape by 4 400t press



Note : Finished dimension.
In case of length, dimension includes test piece.

Fig. 1 Available size of forged shell

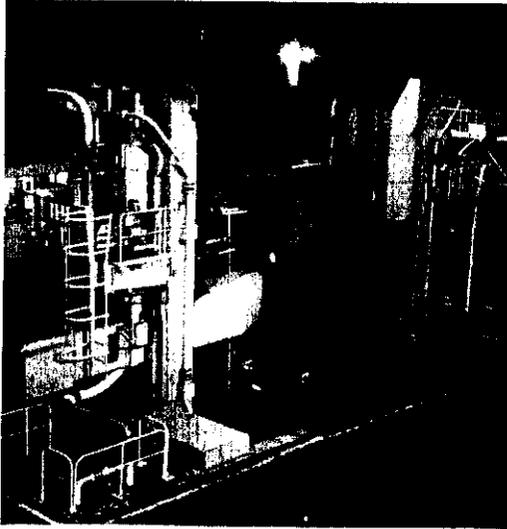


Photo. 1 Forging of shell ring by 4400t press

記の構造および機能を有する。ベッドの両端の一方のサイドハウジングは、圧下シリンダーを収納しかつスライドビームの案内を行う。スライドビームは、リング状素材の内側を出入するため左右に移動できる構造となっている。所定の位置にセットしたスライドビームは、圧下ラム、リフティングラムと結合する。圧下ラム、リフティングラムは、水圧で駆動し、圧下力は、片側で2200t、両側で計4400tである。両側の圧下ラムの位置を検出してスライドビームを水平に保つことができる。スライドビームの下面およびベッドの上面上には上下金敷を取り付ける。圧下ラム、押上ラムのバルブ連動操作によりスライドビームがハウジング内に案内されて上下動を行い上下金敷間の素材を鍛造する。本プレスの特徴は、従来の自由鍛造プレスのように上部ブラテンに製造リングの外径を制限されない点である。

2.1.2 主仕様

- (1) 能力 : 主ラム 2200t×2
- (2) 使用水圧: 315kgf/cm²
- (3) 付帯設備: スケール除去装置, 厚み制御装置

2.2 加熱炉

シェルリングの鍛造法、大径フランジおよび広幅厚鋼板の加熱を考慮して大型加熱炉を新設した。

2.2.1 特徴

台車式の加熱炉および熱処理炉共用タイプとした。そのため熱処理炉として使用する場合の制御特性、炉内温度分布を考慮して燃焼用空気配管の2系統化、循環ファンによる炉内排ガスの再循環方式を採用した。Fig. 3に加熱炉の平面図を示す。さらに省エネルギーを目的として総セラミック張りとし、約35%の燃料削減を達成した。Photo. 2に加熱炉からのシェルリング出炉状況を示す。

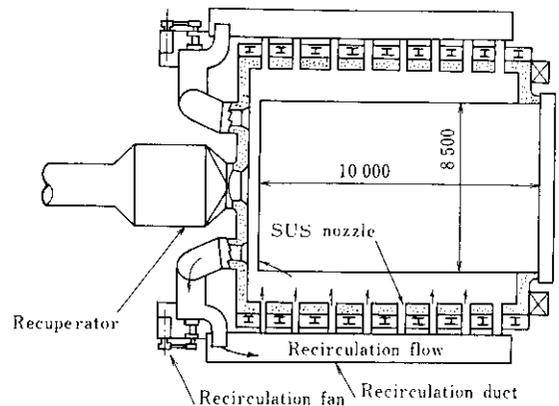


Fig. 3 Plan view of reheating furnace

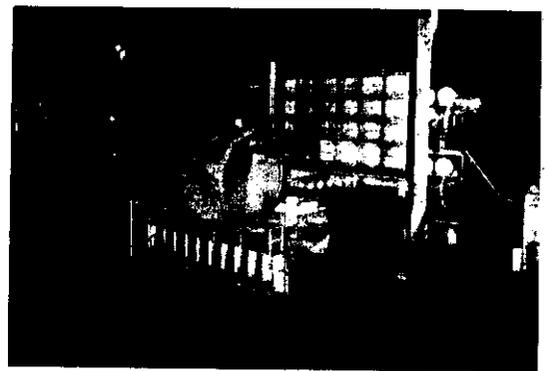


Photo. 2 Extraction from reheating furnace

2.2.2 主仕様

- (1) 型式 : ガス燃焼加熱, および熱処理共用台車炉
- (2) 炉内有効寸法: 幅7500×高8500×長10000 (mm)
- (3) 台車積載能力: 400t

- (4) 付帯設備 : 炉内熱風循環装置, 燃焼用空気加熱用レキュペレータ

2.3 熱処理炉

大径シェルリングの調質処理を考慮して既設台車式熱処理炉の天井を1000mm嵩上げした。なお増設部分および天井は、従来のキャストブル耐火物にかえてセラミックファイバーを使用し省エネルギーおよび温度分布の均一化対策とした。これにより炉内温度精度は目標温度に対し $\pm 10^{\circ}\text{C}$ 以内が確保されている。

2.4 水焼入槽

焼入水槽は、有効寸法、径8.5m、深さ6.7mであり外周と中心に設置したプロペラにより強制攪拌を行う。また冷凍機、予備水槽を有しており1000 m^3/h の給排水により焼入冷却中の水温上昇を抑えることができる。Fig. 4に水槽の概念図、Photo.3

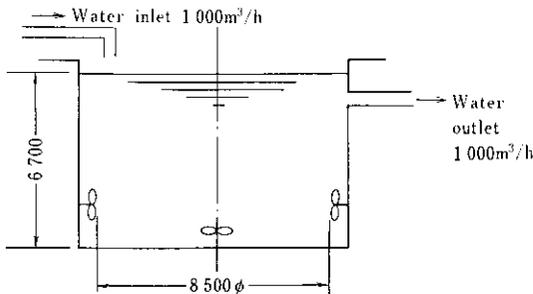


Fig. 4 Schema of quenching bath

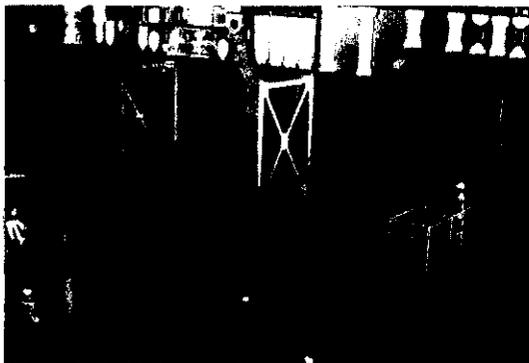


Photo. 3 Quenching of shell ring

にシェルリング焼入状況を示す。

2.5 機械加工設備

既設13m縦施盤に2次元倣い装置を付加改造するとともに8m縦施盤を増設しシェルリング加工能力を増強した。

2.5.1 8m縦施盤

この縦施盤は、クロスレールに2個のツールバーを設置した門型の設備であり電気倣い装置付である。Photo. 4に8m縦施盤によるシェルリング加工状況を示す。

2.5.2 13m縦施盤

既設備に2次元電子倣い装置を付加した。この装置は、別置倣い装置のスタイラスよりゲージ位置を検出し、クロスレール端(X軸)およびツールバー上部(Z軸)に取り付けたサーボモーターに指令を出しX軸、Z軸を同時に作動させて2次元加工を行う。

3. 大型中空鋼塊の製造技術

転炉による低燐、低硫鋼の溶製技術、R-H脱ガスにおける環流量増大による脱酸、脱水素能力



Photo. 4 Machining of shell ring by vertical lathe

向上技術および無酸化雰囲気下注造塊法の開発により、高品質の大型鋼塊製造技術をすでに確立している⁴⁾。この技術と中空鋼塊製造技術を結合して、大型中空鋼塊製造技術を確立した⁵⁾。

中空鋼塊の造塊法を Fig. 5 に示す。中空鋼塊製造技術で重要な点は、中子の構造である。中子はパイプ—耐火物—パイプの3重構造となっており、その内側を、強制空冷している。そのため凝固時間が短く、偏析が軽微となるとともに内面側にも健全な凝固組織を有する初期凝固層を得ることができる。Table 1 に通常菊型鋼塊と中空鋼塊の凝固時間比較を示す。他の特徴としてザクの発生が軽微である。Fig. 6 に凝固末期における残溶鋼プールの消滅状況を示す。中空鋼塊は、凝固完了30分前には、通常菊型鋼塊と比べ、すでに残存プール幅が小さく、これが徐々に消滅する形で凝固が

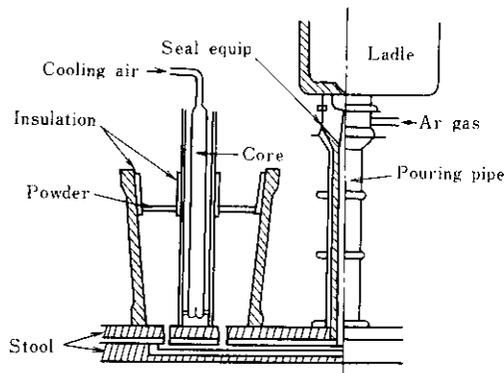


Fig. 5 Making of hollow ingots

Table 1 Comparison of solidification time between conventional and hollow ingot

Ingot weight (t)	Solidification time	
	Conventional ingot	Hollow ingot
15	7	3
35	10	3.5
50	12	6
70	14	8
110	23	10
140	30	17
200	37	23

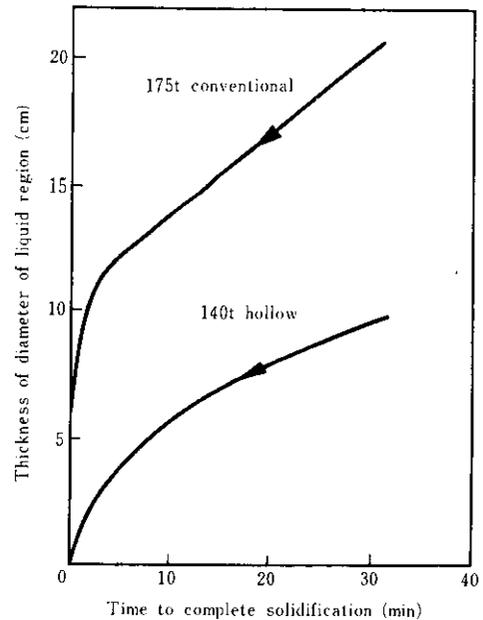


Fig. 6 Decrease in liquid region at the last stage of solidification

完了することから凝固収縮を補う溶鋼補給が、十分行われザクの発生を抑制している。

4. 大径シェルリングの製造

製造設備の充実および大型中空鋼塊製造技術の確立により、大径シェルリングの製造体制が確立したため、原子炉圧力容器用鍛鋼品として加圧水型1300MWe級原子炉圧力容器用シェルリング(以下Mn-Ni-Mo鋼シェルリング)および化工機向鍛鋼品として2¼Cr-1Mo鋼シェルリング(以下Cr-Mo鋼シェルリング)の2つの試作確性を実施した。Fig. 7にそれぞれの製造工程、Fig. 8に確性試験材の寸法を示す。

4.1 製 鋼

Mn-Ni-Mo鋼シェルリング材、Cr-Mo鋼シェルリング材とも転炉-RH脱ガスプロセスによる溶鋼を無酸化雰囲気下注造塊法により200t中空鋼塊に造塊した。各々の溶鋼分析値をTable 2に示す。いずれの鋼塊も靱性対策として、P、Sの低減を図っている。また、高溶銑配合の転炉鋼使用により不純物は非常に低い値となっている。

Manufacturing process	Manufacturing condition
Desulfurizing	・ Desulfurization of molten pig iron
BOF refining	・ High hot ratio ・ Low P.S
R.H Degassing	・ Degassing ・ Adjustment of chemical composition ・ Adjustment of steel temperature
Pouring	・ Bottom pouring ・ 200t hollow ingot
Reheating	
Forging	・ Discard ・ 6 000t, 4 400t free forging press
Annealing	・ De-hydrogen treatment (Normalizing-tempering)
Machining	・ 13m vertical lathe
Inspection	・ UT, MT
Heat treatment	・ Quenching-tempering
Mechanical test	・ SR (P.W.H.T.)

Fig. 7 Manufacturing process of trial forgings

4-2 鍛 錬

概略の鍛錬プロセスを Fig. 9 に示す。6 000t プレスによるシェルリング鍛錬状況を Photo. 5 に示す。

4-3 熱 処 理

強度および靱性を確保するため調質を実施した。Table 3 に調質条件を示す。なお、調質時の最も重要な管理項目である温度・冷却速度の均一性を確認するため種々の部位に熱電対を取り付け、温

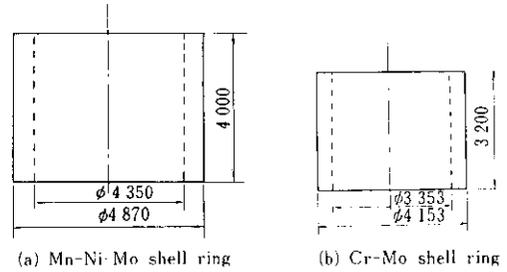


Fig. 8 Dimension of trial forgings before quenching

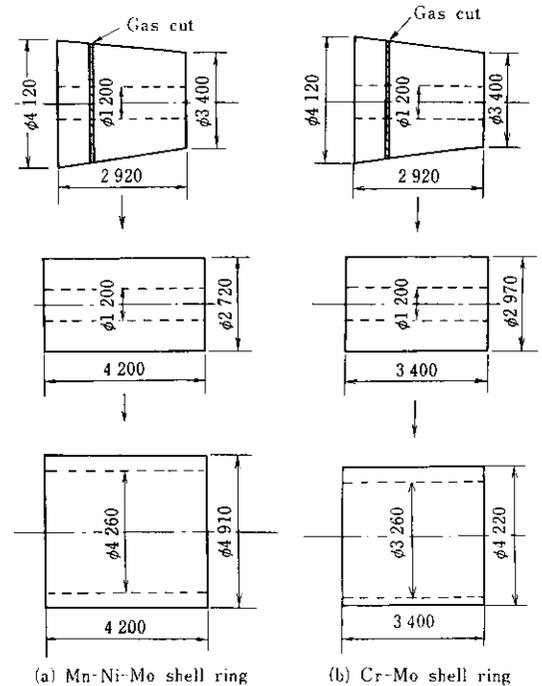


Fig. 9 Forging process of trial forging

度分布および変化を測定した。代表例として Mn-Ni-Mo 鋼シェルリング調質時の冷却速度を Table 4 に示す。肉厚中心部でも十分な冷却速度が確保されているとともに、Top, Bottom とも均一に冷却されていることがわかる。

4-4 完成検査

寸法、外観、超音波探傷および磁粉探傷の各試験を実施したところ、Mn-Ni-Mo 鋼シェルリング Cr-Mo 鋼シェルリングとも無欠陥であった。

Table 2 Chemical composition of trial forgings

(wt. %)

	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	V	Al
JIS SFV23 Spec.	0.15 ~0.25	0.15 ~0.35	1.20 ~1.50	Max. 0.025	Max. 0.025	—	0.40 ~0.80		0.45 ~0.60	Max. 0.05	—
Results	0.18	0.25	1.44	0.004	0.002	0.01	0.70	0.14	0.51	0.003	0.025
SA336 F22 Spec.	Max. 0.15	Max. 0.50	0.30 ~0.60	Max. 0.030	Max. 0.030	—	—	2.00 ~2.50	0.90 ~1.10	—	—
Results	0.14	0.10	0.53	0.004	0.003	0.16	0.16	2.45	1.03	0.011	0.020
	N	As	Sn	Sb	B	Nb	Co				
JIS SFV23 Spec.	—	—	—	—	—	—	—				
Results	0.010	0.001	0.001	0.0004	<0.0001	0.001	0.004				
SA336 F22 Spec.	—	—	—	—	—	—	—				
Results	0.0089	0.002	<0.001	0.0005	0.0001	0.001	0.005				



Photo. 5 Forging of shell ring by 6000t press

5. 大径シェルリングの特性

母材基礎試験、破壊靱性試験、疲労試験および継手試験を実施した。以下に、母材基礎試験の一部を報告する。

Table 3 Quenching condition of trial forgings

		Mn-Ni-Mo shell ring	Cr-Mo shell ring
Quenching	Holding temp. (°C)	880	1070
	Holding time (h)	8	17
Tempering	Holding temp. (°C)	655	650
	Holding time (h)	*5.5	*8

* Holding time of 1/2 position

5-1 偏析

主要成分(C, Mn, P, S)の製品分析結果をFig. 10, 11に示す。各部位における偏析は、きわめて小さく均一でありTable 2に示した溶鋼分析値ともよく一致している。

5-2 内部性状

大型鋼塊における鍛鋼の内部性状を評価するため清浄度、オーステナイト結晶粒度、顕微鏡組織の各試験を行った。JIS G 0555により実施した清浄度の一例をTable 5, 6に示す。わずかにA系とB系の介在物が観察される程度である。また、代

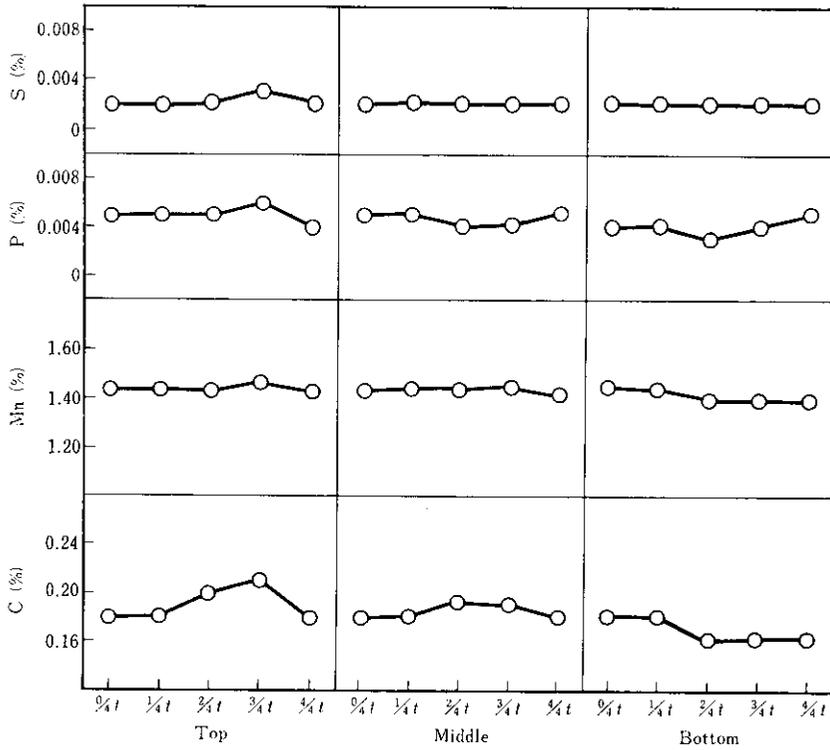


Fig. 10 Distribution of chemical composition (Mn-Ni-Mo shell ring)

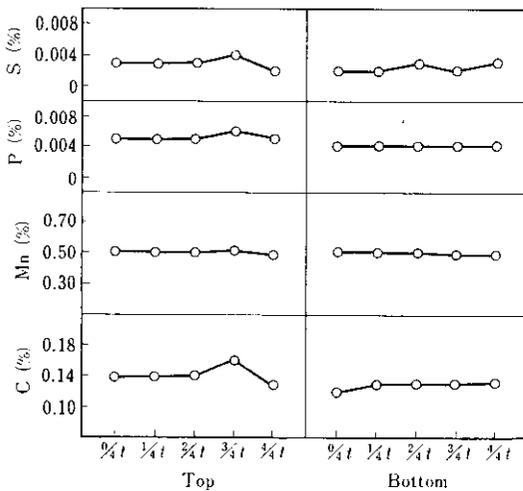


Fig. 11 Distribution of chemical composition (Cr-Mo shell ring)

表的な部位でのオーステナイト粒度，マイクロ組織を Photo. 6, 7 に示す。いずれも微細な焼戻しベーナイト組織であり，均一な細粒組織となってい

Table 4 Average cooling rate from 800°C to 400°C (Mn-Ni-Mo shell ring)

Position	Top	Bottom
	C.R.(°C/min)	C.R.(°C/min)
40mm from inner surface	32.0	36.3
20mm from inner surface	61.5	72.7
3/4t	21.6	22.2
1/2t	20.0	20.5
1/4t	24.2	23.5
20mm from outer surface	100.0	114.2
40mm from outer surface	53.3	44.4

る。このようにいずれの試験でも優れた内部性状を示し転炉-RH脱ガス無酸化雰囲気下注造塊による中空鋼塊製造プロセスの優秀性が確認された。

5.3 機械的性質

Mn-Ni-Mo 鋼シェルリング，Cr-Mo 鋼シェルリ

Table 5 Cleanliness $d60 \times 400$ by JIS G 0555 of Mn-Ni-Mo shell ring

(JIS G 0555)

Sampling position		dA (60×400)	dB (60×400)	dC (60×400)	dT (60×400)
Top	$\frac{1}{4}t$	0.029	0.004	0.000	0.033
	$\frac{1}{4}t$	0.025	0.004	0.000	0.029
	$\frac{3}{4}t$	0.025	0.000	0.000	0.025
	$\frac{3}{4}t$	0.029	0.000	0.000	0.029
	$\frac{1}{2}t$	0.021	0.000	0.000	0.021
Bottom	$\frac{1}{4}t$	0.017	0.004	0.000	0.021
	$\frac{1}{4}t$	0.017	0.000	0.000	0.017
	$\frac{3}{4}t$	0.012	0.000	0.000	0.012
	$\frac{3}{4}t$	0.025	0.004	0.000	0.029
	$\frac{1}{2}t$	0.033	0.004	0.000	0.037

Note Type A inclusion : Sulfide, Silicate

Type B inclusion : Alumina

Type C inclusion : Globular oxide

Table 6 Cleanliness $d60 \times 400$ by JIS G 0555 of Cr-Mo shell ring

(JIS G 0555)

Sampling position		dA (60×400)	dB (60×400)	dC (60×400)	dT (60×400)
Top	$\frac{1}{4}t$	0.029	0.000	0.000	0.029
	$\frac{1}{4}t$	0.037	0.000	0.000	0.037
	$\frac{3}{4}t$	0.033	0.000	0.000	0.033
	$\frac{3}{4}t$	0.033	0.000	0.000	0.033
	$\frac{1}{2}t$	0.033	0.000	0.000	0.033
Bottom	$\frac{1}{4}t$	0.037	0.000	0.000	0.037
	$\frac{1}{4}t$	0.025	0.000	0.000	0.025
	$\frac{3}{4}t$	0.033	0.000	0.000	0.033
	$\frac{3}{4}t$	0.033	0.000	0.000	0.033
	$\frac{1}{2}t$	0.037	0.000	0.000	0.037

Note Type A inclusion : Sulfide, Silicate

Type B inclusion : Alumina

Type C inclusion : Globular oxide

ングの機械試験結果の一例を Fig. 12, 13 に示す。また Fig. 14, 15 には、引張特性の温度依存性を示す。いずれも表層、中心部での強度差は、ほとんどなく、かつ肉厚中心においても目標強度を満足している。同時に衝撃特性、落重特性についても満足できる値を得ることができた。

6. まとめ

各種産業用設備の大型化、高品質化に対処するため既設6000tプレスの製造可能範囲をこえる大径シェルリング、広幅厚鋼板の仕上鍛造用として

Mn-Ni-Mo
shell ring

Cr-Mo
shell ring

100μm

Photo. 6 Typical austenite grain structure (JIS G 0551)

Mn-Ni-Mo
shell ring

Cr-Mo
shell ring

100μm

Photo. 7 Typical microstructure (JIS G 0551)

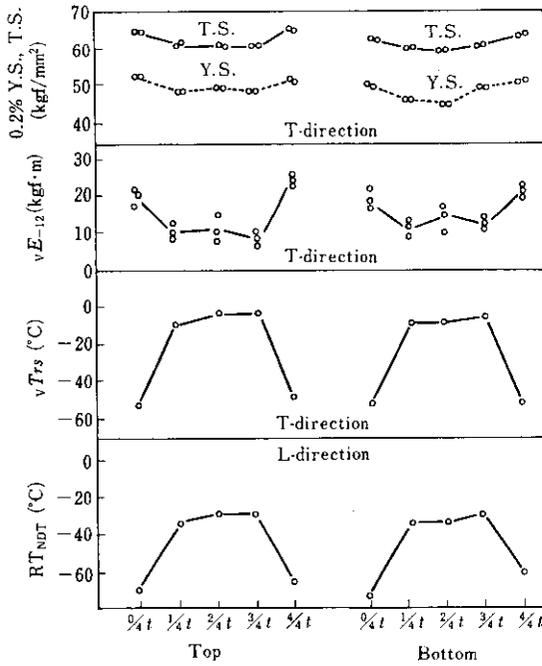


Fig. 12 Distribution of mechanical properties of Mn-Ni-Mo shell ring (615°C×26h F.C.)

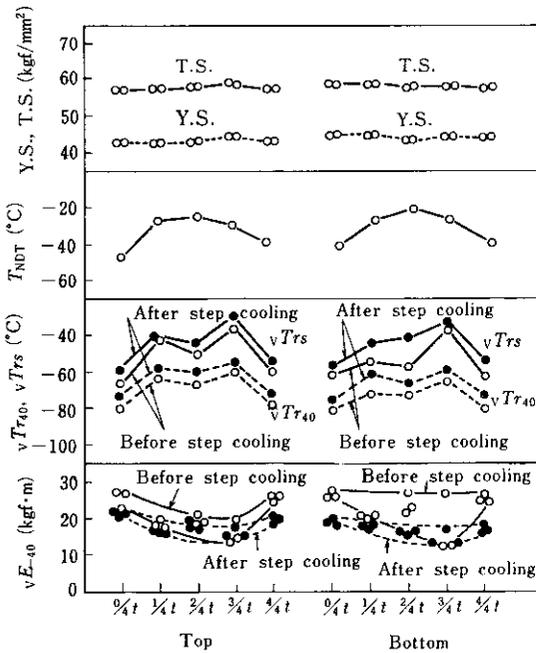


Fig. 13 Distribution of mechanical properties of Cr-Mo shell ring (690°C×24.5h T.P.=20.60, T-direction)

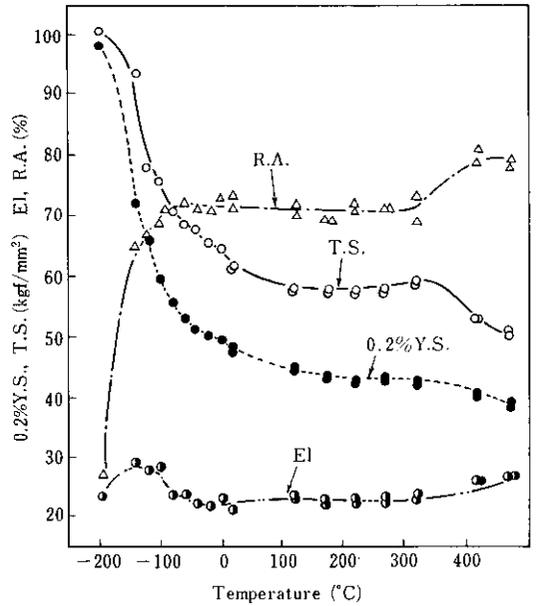


Fig. 14 Influence of test temperature on tensile properties (Mn-Ni-Mo shell ring, 3/4t, L-direction)

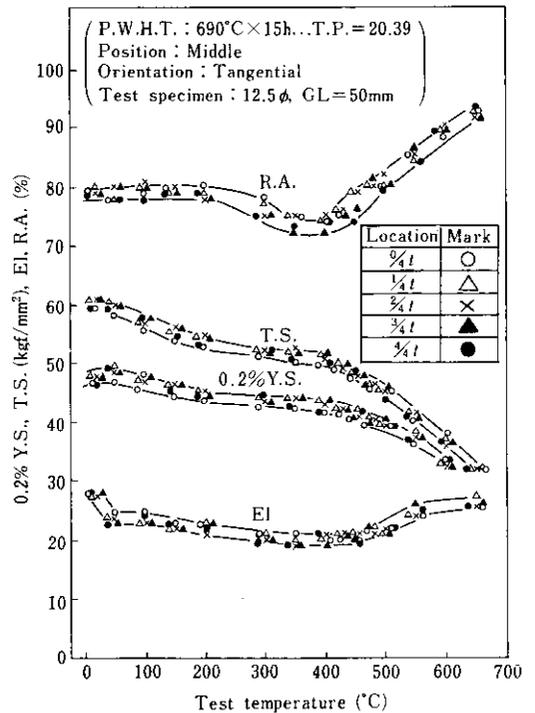


Fig. 15 Results of tensile test at elevated temperature (Cr-Mo shell ring)

当社独自の基本設計による4 400t プレスを設置するとともに付帯設備の充実を行い、大型中空鋼塊製造技術の確立とあわせて、大径シェルリングの

製造体制が整った。原子炉圧力容器用および化工機用の2鋼種によるシェルリングの確性試験も満足すべき結果が得られた。

参 考 文 献

- 1) 三島：鉄と鋼，66 (1980) 10, 99~106
- 2) 和中ら：川崎製鉄技報，12 (1980) 1, 52~64
- 3) 中野ら：川崎製鉄技報，12 (1980) 4, 33~50
- 4) 飯田ら：川崎製鉄技報，12 (1980) 1, 27~40
- 5) 山浦ら：日本金属学会会報，19 (1980), 372~374