

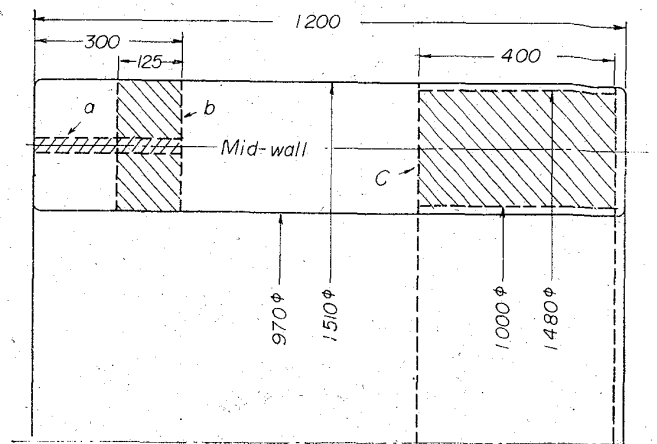
(2) 球状化処理後の焼入性に対しては、Ni はやや増加せしめ Cr は逆にやや減少せしめる。

(3) 焼割れ性に関しては Ni, Cr の影響を系統的に把握できなかつたが、Cr 0.3% 以上ではその可能性はあるといえる。

(4) 焼戻し第1段階は Ni の添加でやや遅滞し、Cr の添加で促進されるが、Cr の場合その後期、とくに高温側では軟化の抵抗を示すようになる。硬さの面ではこれらの変化は実用的な範囲であるので、両元素とも工具寿命の延長が期待される。なおこれらの具体的な調査結果は次報でおこなう。

文 献

- 1) 吉松, 荒木, 中川: 鉄と鋼, 51 (1965), p. 2008
- 2) C. F. JATCZAK: Trans. Amer. Soc. Metals, 51 (1959), p. 335
- 3) R. D. CHAPMAN, et ali.: Metal Progress, Sept. (1953), p. 67
- 4) B. S. LEMENT, et ali.: Trans. Amer. Soc. Metals 41(1949), p. 1061.
- 5) H. W. KING, et ali.: J. Iron & Steel Inst.(U.K.), 196 (1960), p. 281
- 6) H. W. KING, et ali.: ibid., 193 (1959), p. 123



a & b: Test block for mechanical test.  
c: Test ring for temperature measurement during water quenching (steel A).

Fig. 1. Dimension of ring forging before heat-treatment and the cutting plan of test blocks.

応力除去焼鈍による機械的性質の変化などが特に問題とされることは、鋼板、鍛造材を問わず同様であるが、鍛造材に関しては、わが国の現状では良好な溶接性を保持するための低いC当量を有する材料で、超厚材の内部まで十分な機械的性質が得られるか否かの確認が先決問題と考えられる。

このような観点から、ASME, SA336, Case 1236 相当の Ni-Cr-Mo 鋼を用い、製品肉厚 240 mm を想定した鍛造リング材の製造を行ない、機械的性質に関する各種確性試験を実施した。

2. 試験方法

Table 1 に供試リング材の化学成分を示す。A 鋼, B 鋼とも ASME, SA336, Case 1236 の規格内の成分であるが、両者の違いは実質的に C 量の差にある。両リングとも塩基性電弧炉溶解、真空鋳込 20 t 鋼塊から鍛造され、焼鈍ののち、Fig. 1 に示す形状に切削され、調質された。調質は A 鋼については 880°C → WQ, 700°C → AC, B 鋼については 900°C → WQ, 680°C → AC といずれも水焼入、焼戻とした。焼戻温度は SA336, Case 1236 に規定されるもの (620°C 以上) を十分満足している。

調質後のリング材については、機械的性質の分布、応力除去焼鈍に伴う機械的性質の変化のほか、水焼入時の冷却条件の測定などを実施した。Fig. 1 にはこれら各試験材の採取位置も併示した。

3. 試験結果ならびに考察

3.1 C 量の影響

Table 2 に A, B 鋼両リング材の機械的性質を示す。

Table 1. Chemical composition of ring forgings (wt. %).

Steel	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Co
Spec.*	<0.27	0.15~0.35	0.50~0.80	<0.040	<0.050	0.50~0.90	0.25~0.45	0.55~0.70	
A	0.20	0.32	0.65	0.012	0.008	0.81	0.40	0.60	0.02
B	0.15	0.33	0.67	0.012	0.006	0.84	0.38	0.57	0.012

\* ASME, SA 336, case 1236.

669.14-134-477; 621, 039, 53  
620, 172, 22

(182) ASME, SA336 鋼鍛造リング材の性質について

(原子炉圧力容器用超厚鋼材の性質について—II)

日本製鋼所, 室蘭製作所

工博 小野寺真作・深町喜三郎

本間 亮介・○山田 国雄

On the Properties of ASME, SA336 Steel Ring Forging.

(On the properties of heavy-section steel for nuclear pressure vessel—II)

Dr. Shinsaku ONODERA, Kisaburō FUKAMACHI, Ryōsuke HOMMA and Kunio YAMADA.

1. 緒 言

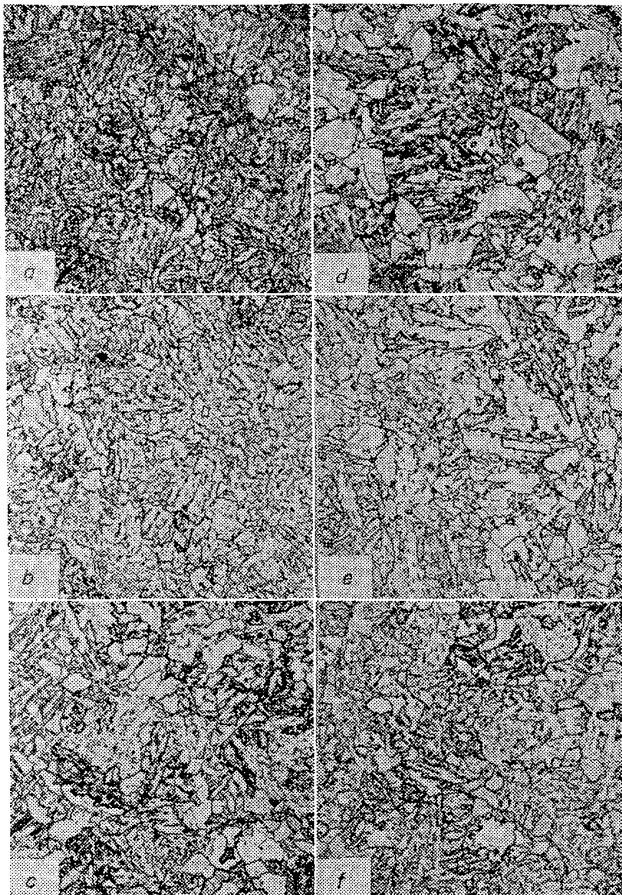
原子炉圧力容器の製造に関する研究開発はわが国においても各分野で急速に進められつつあるが、従来この種圧力容器用材料としては主として超厚鋼板が対象とされていた。しかし近年その大型化に伴い、フランジ材はもとより、容器本体にも鍛造材(リング材)を適用しようとのすう勢が見られ、実際に鍛造材を用いた例もある。

原子炉圧力容器用材料としては、照射損傷、溶接性、

Table 2. Mechanical properties of rings.

Steel	0.2% yield strength (kg/mm <sup>2</sup> )	Tensile strength (kg/mm <sup>2</sup> )	Elongation (%)	Reduction of area (%)	Impact value at -12°C (kg-m/cm <sup>2</sup> )	Bend (180°/2TR)	NDT (Drop weight test) (°C)
A	48.5	63.0	30.9	65.3	4.3, 4.2, 2.4	Good	-7
B	44.9	60.0	30.2	68.8	9.4, 8.8, 6.7	Good	< -22

Test specimen: Tensile test-JIS 4, Impact test-JIS 4, Bend test-JIS 5-A, Drop weight test-ASTM, E 208-63 T, type P-2.



Steel, Depth from outer surface ×200(2/3)  
 a A 3/4×wall thickness  
 b B 10mm (outer surface zone)  
 c " 1/4×wall thickness  
 d " 1/2× " (mid-wall)  
 e " 3/4× "  
 f " 260mm (inner surface zone)

Photo. 1. Microstructure of ringth at various positions of wall thickness.

試験片は Fig. 1 の b 部, 内表面から肉厚の 1/4 の深さの位置から円周方向に切出し, 粗材として 625°C×50hr→FC(50°C/hr) なる応力除去焼鈍を行なった。なお試験片採取要領は, ASME, Boiler and Pressure Vessel Code, Nuclear Vessel, Sect. III (1963) に準じた。

引張強さ, 降伏強さは A 鋼が若干大きい, 衝撃性質は C 量の低い B 鋼のほうが明らかにすぐれている。Photo. 1 a および e はそれぞれ A および B 鋼リング材の Table 1 に示した材料試験位置に相当する部分の顕微鏡組織である。いずれも初析フェライトとベイナイトの混合組織であるが, 初析フェライト量は低 C の B 鋼の

ほうが明らかに多い。一般に初析フェライトの少ないこと, C 量の低いことが衝撃性質を向上させる重要因子のうち挙げられているが, 今の場合 B 鋼のよりすぐれた結果は後者によるものと見られる。

なお, Table 2 に示した機械的性質のうち, 引張り性質に関しては両リング材とも SA 336, Case 1236 の規定 (引張り強さ > 56 kg/mm<sup>2</sup>, 降伏強さ > 35 kg/mm<sup>2</sup>, 伸び > 17%) を十分に満足し, 衝撃性質も前述 ASME の原子炉圧力容器に関する規定 (> 5.2 kg-m/cm<sup>2</sup> at -12°C に相当) を十分上廻っている。

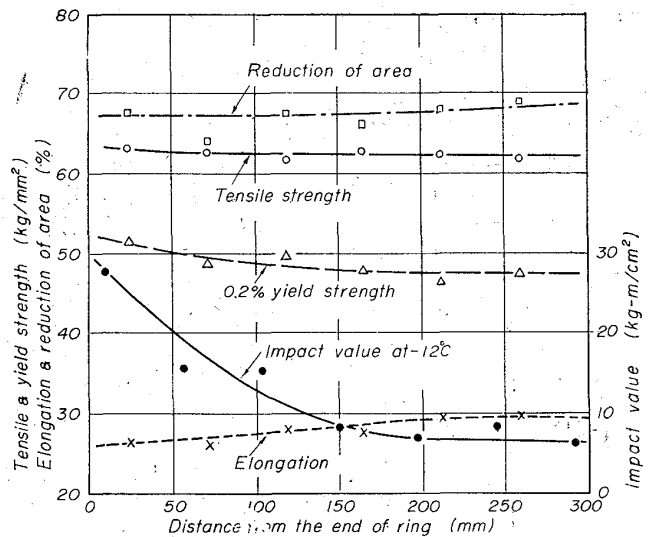


Fig. 2. Distribution of mechanical properties from the end of ring (at mid-wall position, steel B)

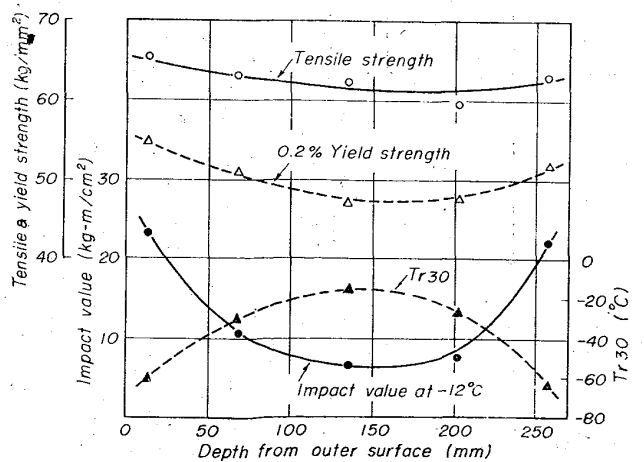


Fig. 3. Distribution of mechanical properties through the wall thickness of ring (steel B).

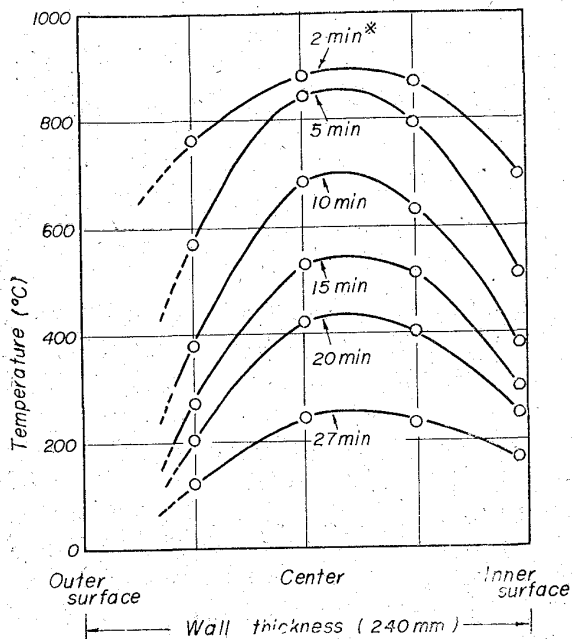


Fig. 4. Variation of temperature distribution through the wall thickness of ring forging during water quenching.

3.2 リング材の機械的性質の分布

B鋼リング材について機械的性質の分布を調べた。

Fig. 3は Fig. 1のa部より採取した円周方向試験片についてのリング端面からの引張性質および衝撃値の分

布である。引張性質では強さが内部になるにつれて若干低下するが、変化は大きくない。これに対して衝撃値は端面から約150mmまでの間で顕著な低下を示している。

Fig. 3は同様の試験を Fig. 1のb部について行なったもので、リングの肉厚方向の分布である。引張性質の分布は端面からの分布と同様、内部で強さが若干低下する程度であるが、衝撃靱性の変化はこの場合も顕著で、表面から肉厚の1/4の深さまでの間に大きな低下を示している。

Photo. 1のb~fは Fig. 3の機械的性質の分布に相当する顕微鏡組織の分布である。初析フェライトの量が肉厚内部になる程増加しており、また外表側より内表側のほうが初析フェライト量が多くなっている。

Fig. 4はA鋼リングを肉厚240mmに削直しののち(Fig. 1のc部)、長さの中央部、肉厚方向のいろいろな深さの位置に熱電対を挿入し、900°Cから水焼入した時の冷却条件を実測した結果で、水焼入後のいろいろな経過時間における肉厚内外の温度分布を示してある。850~550°C間の平均冷却速度は内面から10mmの位置で70°C/min、中心部で27°C/minである。

Photo. 1のb~fの組織分布、Fig. 3(Fig. 2も同様の)の機械的性質、特に衝撃性質の著しい質量効果はすべて上述のような水焼入時の冷却条件から理解しうる。さらには本材料成分では超厚材の場合、この程度の質量効果はあらかじめ考慮に入れておく必要のあることが指摘される。しかしB鋼リング材の場合、質量効果が大きいとはいえず、肉厚中心部における衝撃性質でも現在原子炉圧

Table 3. Effect of stress relief annealing on the mechanical properties (steel B).

Conditions of stress relief annealing			0.2% yield strength (kg/mm <sup>2</sup> )	Tensile strength (kg/mm <sup>2</sup> )	Elongation (%)	Reduction of area (%)	Impact value at -12°C (kg-m/cm <sup>2</sup> )	Transition temperature Tr 30 (°C)
Temperature (°C)	Time (hr)	Cooling						
As received			47.1	62.1	28.6	62.3	6.6	-15
600	10	FC	43.0	64.3	30.2	70.3	6.0	-14
		WQ	45.0	60.1	29.0	68.7	7.5	-21
	50	FC	46.3	61.7	30.2	71.3	6.6	-21
		WQ	45.5	64.3	29.0	67.4	6.4	-22
	100	FC	45.2	60.8	28.3	70.5	7.7	-22
		WQ	45.5	59.8	31.1	71.3	4.8	-14
625	10	FC	47.4	60.1	28.0	69.5	6.5	-16
		WQ	45.0	59.8	31.0	64.0	6.6	-17
	50	FC	46.2	60.8	29.2	72.8	5.4	-10
		WQ	46.5	62.6	28.5	67.9	6.5	-19
	100	FC	44.4	59.8	29.6	69.1	4.5	-10
		WQ	42.8	58.8	30.8	71.3	7.7	-20
150	FC	44.1	59.8	30.0	68.2	4.0	-14	
	WQ	43.1	59.3	31.0	69.5	3.1	-14	
650	10	FC	45.5	59.8	29.0	71.3	6.8	-17
		WQ	44.0	59.4	31.8	72.1	8.4	-18
	50	FC	42.1	59.1	29.7	73.5	6.5	-17
		WQ	43.3	58.9	31.4	69.1	5.8	-18
	100	FC	45.0	59.2	29.4	67.4	4.4	-12
		WQ	44.0	58.1	31.5	72.1	4.0	-4

↑(183) 669, 141, 245LD-424:620, 186:620, 172, 22  
:620, 178:621, 785, 6

力容器用として要求されている水準に対しては満足なものである。

3.3 応力除去焼鈍による機械的性質の変化

鍛造リング材を圧力容器として組立てるに際しては、構造溶接後の応力除去焼鈍が必然的に含まれる。したがってこの影響を知ることは実用上重要である。

Table 3 は、B鋼リング材の Fig. 1 b 部肉厚中心部から円周方向に切出した試験材について、600~650°C × 10~150hr の応力除去焼鈍を行なったのちの引張および衝撃試験結果である。焼鈍後の冷却は炉冷 (50°C/hr) と水冷を行なったが、これは焼戻脆性感受性をみるためのものである。

引張試験における強さの変化は、バラツキを考慮すれば上記の試験範囲では 3 kg/mm<sup>2</sup> 程度である。また衝撃性質は高温長時間側でやや劣化の傾向は見られるが、これもバラツキを考慮に入れば明瞭な傾向とはいえない。なお、625°C × 150hr の場合は 50 hr の処理を 3 回繰返したものであるが、繰返加熱の影響も明瞭でない。したがってこの材料の応力除去焼鈍による機械的性質の変化は比較的小さいといえる。さらに、焼鈍後の冷却速度による変化も一貫した傾向を示していないことから、焼戻脆性に対する感受性も問題とならないと考えられる。

4. 結 言

原子炉用圧力容器を対象として、ASME, SA336, Case 1236 相当の Ni-Cr-Mo 鋼を用い、調質前形状で外径 1,510 mm, 肉厚 270 mm, 長さ 1,200 mm のリング材を製造し、その機械的性質に関する各種試験を行ない、次の結果が得られた。

(1) C量 0.20% と 0.15% のものの比較では、衝撃靱性において後者が明らかにすぐれていた。これは C 量の焼入性におよぼす影響よりも、それ自体の衝撃靱性におよぼす影響が大きいためと考えられる。

(2) 0.15% C のリング材の機械的性質の分布では、特に衝撃性質の質量効果が顕著であるが、これは焼入時の冷却条件からみて本材料では当然の結果である。しかし、肉厚内部でも -12°C で約 6.5 kg-m/cm<sup>2</sup> の衝撃値が得られた。

(3) 本材料の溶接後の応力除去焼鈍による機械的性質の変化はわずかである。

以上の結果から、本試験リング材の機械的性質は、原子炉圧力容器用材料として現在要求されている水準に十分達していることが明らかとなったが、実際の圧力容器用鍛造リング材の製造において、外径が著しく大きな場合でも肉厚が本試験リング材と同等であれば、上記の試験結果はそのまま適用しうるものと考えられる。

文 献

- 1) A. BARTOCCHI and E. MARIANESCHI: Nuclear Engineering, Apr. (1962), p. 146

(183) 純酸素上吹転炉鋼による軌条の性質について

富士製鉄, 釜石製鉄所

阿部泰久・青井賢次・大毛利英昭

Study on Properties of Rails made of Pure-Oxygen Converter Steel.

Yasuhisa ABE, Kenji AOI  
Hideaki OMORI.

1. 結 言

近年純酸素上吹転炉製鋼法の発達は著しく、この新しい製鋼法はその品質および生産性において従来の平炉製鋼法に比して、優るとも劣らぬといわれている。

本報告は、高度の品質を要求されている軌条を、純酸素上吹転炉により製作し、同時に比較のため平炉鋼により製造した軌条の諸性質を調査した結果である。

2. 試 験 方 法

純酸素上吹転炉鋼については当社の 50 t 転炉で 1 ヒート溶製 (試験鋼塊 8 本) し、さらに比較材として平炉鋼 1 チャージを指定して溶製 (試験鋼塊 9 本) し、溶製一鋼塊一鋼片-50N 軌条の各工程において、化学成分、ガス含有量、機械的性質、顕微鏡組織、焼入性、および溶接性等を調査し、純酸素上吹転炉鋼 (以下 LD 鋼という) と平炉鋼とを比較した。

3. 試験結果および考察

3.1 化学成分

軌条頭部よりチェック分析および微量元素分析を行ない比較した (Table 1)。

3.1.1 普通元素

普通元素については成分条件を同一にするために、LD 鋼の成分に類似の平炉鋼を指定した。

3.1.2 微量元素

Ni, Cr は平炉鋼で高く、As は LD 鋼で高くなっている。この原因としては、平炉鋼は LD 鋼に較べてスクラップ使用量が多くこのスクラップから入ったものと思われる。また、As は溶鋳炉で使用した鉄鋳石の差が現われたものと考えられる。

3.2 ガス含有量

サンプリングは炉内、取鍋および軌条について行なった。Fig. 1 のごとく炉内においては [O], [N], [H] ともに LD 鋼が平炉鋼より含有量が少ない。しかし取鍋、軌条となるにしたがつて差はなくなっている。[O] は軌条で 0.006 wt% 程度で LD 鋼、平炉鋼間に差がないが Kuznetsh 工場<sup>1)</sup> のキルド鋼レールに比較して若干高めである。[N] は 0.005 wt% 前後で LD 鋼がわずかながら低く、Donawitz<sup>2)</sup> 工場、Kuznetsh 工場、Dzerzhinskii<sup>3)</sup> 工場とは同等もしくは低い値を示している。[H] については軌条で測定を行なっていないが、Kuznetsh 工場等の結果から見て LD 鋼は同等もしくは少ないことが推

Table 1. Chemical composition of specimens (%).

Type of rail	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Ti	As
L. D-Rail	0.69	0.17	0.79	0.014	0.012	0.08	0.016	0.028	0.005	0.014
O. H-Rail	0.69	0.18	0.75	0.014	0.016	0.10	0.026	0.044	0.007	0.011