

© 1983 ISIJ

技術報告

極厚大型ステンレス鍛鋼品の製造と諸特性

大西敬三*・塚田尚史*²・鈴木公明*³・手代木邦雄*⁴
加賀 寿*³・楠橋幹雄*³・佐藤育男*³

Manufacturing Technology and Material Properties of Large Size Austenitic Stainless Steel Forgings

Keizo OHNISHI, Hisashi TSUKADA, Komei SUZUKI, Kunio TESHIROGI
Hisashi KAGA, Mikio KUSUHASHI, and Ikuo SATO

Synopsis :

The effects of grain size, cooling rate, and chemical composition (especially carbon content) on tensile properties, intergranular corrosion resistance and ultrasonic attenuation were studied to establish manufacturing conditions of large size austenitic stainless steel forgings. Based on these fundamental studies, large size products such as disk and flange forgings were manufactured and the verified results proved their homogeneity, excellent quality, and good manufacturing performance.

1. 緒 言

軽水型原子力発電設備の大容量化にともない原子炉圧力容器が大型化し、その中に組み込まれるステンレス鋼製インターナル部材も極厚大型化されるようになってきた。さらに現在開発の進められている高速増殖炉においても、炉容器、炉内構造物などの部材として、従来にならぬ極厚大型ステンレス鍛鋼の使用が予定されており、ステンレス鋼の大型化にますます、拍車がかかるものと思われる。

これらの大型部材においても、高品質かつ健全な内部性状を確保することが重要であるが、その製造にあたっては健全な大型鋼塊の溶製をはじめとして小型品とは異なつた各種の問題点を抱えている¹⁾²⁾。とくに熱間加工においては、極厚大型材に均一かつ十分な加工を与えることが困難であり、結晶粒の微細化ならびに均一性の確保に難しさが生じてくる。また極厚材における溶体化熱処理後の冷却速度は、肉厚内部で必然的に遅くなるという避け難い問題もある。したがって、これら要因が諸特性におよぼす影響を的確に把握し、高品質化のための化学成分の選定、製造技術とくに熱間加工技術の改良が必要である。一方、これら極厚大型材の使用にあたっては、その本質的な特性を正しく認識しておくことも重要

と考えられる。

そこで、極厚大型オーステナイト系ステンレス鋼の製造に関する基礎試験として、type 304, type 347 鋼の引張特性、耐粒界腐食性、超音波透過性におよぼす結晶粒度、冷却速度ならびに化学成分とくにC量の影響について検討を加えた。また、冷却速度は肉厚により決定されるものであるのに対し、結晶粒度は熱間加工条件の選定により改善が期待できるものであり、この条件決定の基礎データとして静的再結晶挙動の把握を行つた。

さらに、これら基礎データに基づいて製造した大型ステンレス鍛鋼製ディスク材およびフランジ材の確性試験を行い、製造条件の妥当性を確認すると同時に、極厚大型材の本質的な特性の把握を行つた。

2. 冷却速度の測定

前述のごとく溶体化熱処理後水冷時の冷却速度は肉厚に依存する。そこで肉厚 100 mm から 500 mm の type 304, type 347 鋼製各種製品を用いた表面直下 (10mm), 1/4 T, 1/2 T 部 (T: 肉厚) に熱伝対を挿入し、冷却速度を実測した。この実測結果から特に炭化物の析出に関与すると考えられる温度域 850°C から 500°C までの平均冷却速度を求め、それを肉厚に対し整理した結果を Fig. 1 に示す。

昭和 56 年 4 月本会講演大会にて発表 昭和 57 年 4 月 2 日受付 (Received Apr. 2, 1982)

* (株)日本製鋼所材料研究所 工博 (Materials Research Laboratory, The Japan Steel Works Ltd.)

*² (株)日本製鋼所室蘭製作所 工博 (Muroran Plant, The Japan Steel Works Ltd.)*³ (株)日本製鋼所室蘭製作所 (Muroran Plant, The Japan Steel Works Ltd., 4 Chatsumachi Muroran 051)*⁴ (株)日本製鋼所材料研究所 (Materials Research Laboratory, The Japan Steel Works Ltd.)

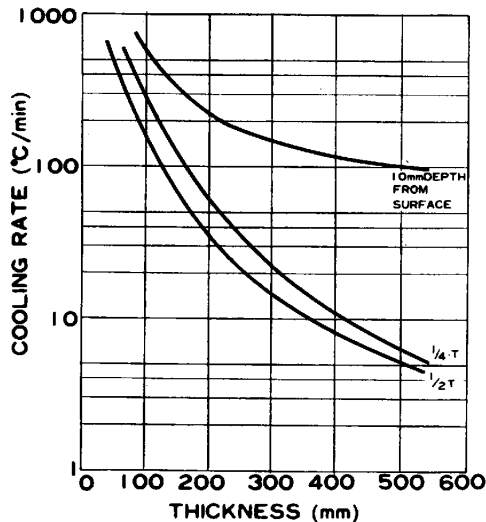


Fig. 1. Average cooling rate corresponding to plate thickness of austenitic stainless steel when water-cooled from solution heat treating temperature.

3. 基礎試験

3.1 供試材

試験は type 304 鋼 (以下 304 鋼) と安定化ステンレス鋼としての type 347 鋼 (以下 347 鋼) を対象とした。主として真空溶解した 50 kg 鋼塊を熱間鍛造後各種の試験に供したが、必要に応じて実製品の余材も用いた。

3.2 引張試験

厚肉大型鋼材では、薄肉材に比べ、結晶粒は大きく、また、溶体化熱処理後の冷却速度は小さくなるので、それにとまらぬ引張性質は異なるものと考えられ、この点についての基礎実験を主として引張試験により実施した。

また一般にオーステナイト系ステンレス鋼の降伏強さや引張強さは、固溶 C および N 量によっても異なるので、基礎試験において、C および N 量を変化させた。各試験材の調整状態は下記に示すとおりである。

- i) 結晶粒度の影響 (C; 0.028%, 冷却速度 1000°C/min)
- ii) 冷却速度の影響 (結晶粒度 ASTM No. 3, C; 0.028~0.11%)
- iii) C および N 量の影響 (結晶粒度 ASTM No. 4.5, 冷却速度 1000°C/min)

引張試験片は JIS 14 号 (10 mmφ×50 mm gauge length) を用い、10 t インストロン型引張試験機にて引張試験を行った。なお引張速度は 3.75 mm/min, 試験温度は室温である。

3.3 粒界腐食試験

0.076% C の 304 鋼について、耐粒界腐食性におよぼす溶体化熱処理後の冷却速度の影響を求めた。冷却速度は 5~2000°C/min の範囲で変化させ、試験は 10% しゅう酸および硫酸・硫酸銅腐食試験により行った。さらに 0.026, 0.054, 0.10% C の 304 鋼について 10% しゅう酸腐食による TTS 線図を作成し、耐粒界腐食性におよぼす C 量の影響について検討した。なお硫酸・硫酸銅腐食試験においては 4 mm^t×20 mm^w×50 mm^l, 10% しゅう酸腐食試験では、20 mm×20 mm×10 mm^t の試験片を用いた。

0.045% C, 0.70% Nb の 347 鋼については、溶体化熱処理温度を 1150°C として、結晶粒度を ASTM No. 4.2 に調整し、その後の冷却速度を 70°C/min と 5°C/min にコントロールした。この冷却ままの材料および 560°C, 590°C で 96 h 加熱保持という厳しい鋭敏化処理を施した材料につき、粒界腐食試験を行った。試験は 10% しゅう酸腐食試験と硫酸・硫酸銅腐食試験であるが、後者は ASTM A 262-E 法ならびに DIN 50914 に従った。

3.4 超音波透過性試験

オーステナイト系ステンレス鋼の超音波透過性にもつとも大きな影響をおよぼす要因は結晶粒度と考えられる。

そこで 304, 347 鋼の各種実製品余材を用い、熱間鍛造条件と熱処理との組み合わせにより結晶粒を ASTM No. 1.0~9.0 に調整して超音波減衰定数の測定を行った。使用した周波数は 1 MHz および 2 MHz であった。

3.5 再結晶挙動に関する試験

オーステナイト系ステンレス鋼の熱間加工条件を選定するに必要な基礎データを得るため静的再結晶挙動を調査した。

0.058% C の 304 鋼および 0.043% C, 0.82% Nb の 347 鋼を供試材とし、あらかじめ室温単軸引張にて 30% 歪みを与えたのち、800~1250°C の温度で 1, 10 および 100 h 加熱保持し、水冷後の結晶粒度の変化を調査した。

4. 試験結果および考察

4.1 引張特性

304 鋼の室温での 0.2% 耐力, 引張強さと結晶粒径との関係を Fig. 2 に示す。結晶粒径が小さくなるとともに、0.2% 耐力および引張強さの上昇が認められ、フェライト鋼の降伏強さと結晶粒径との関係で良く知られて

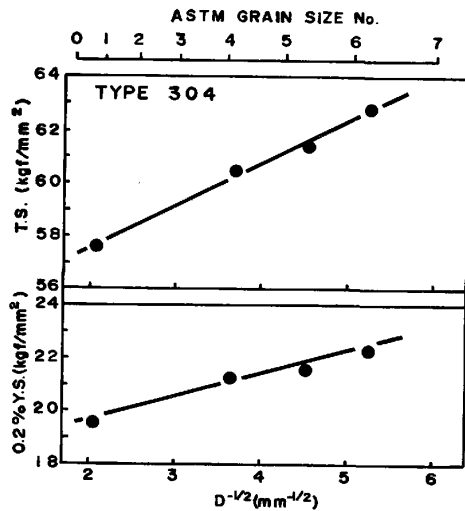


Fig. 2. Effect of grain size on 0.2% yield strength and tensile strength.

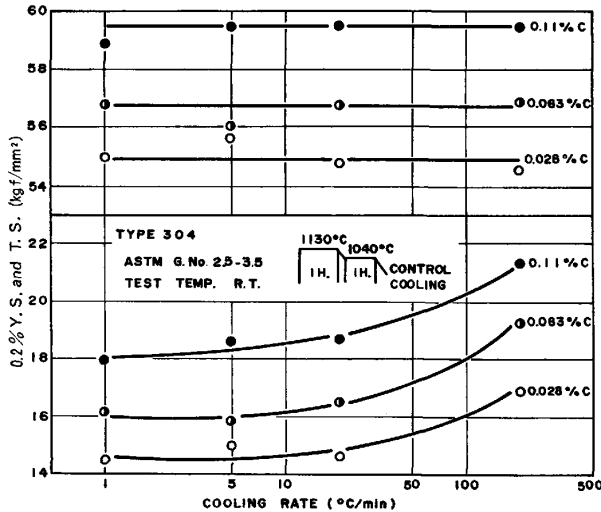


Fig. 3. Effect of cooling rate from solution heat treating temperature on 0.2% yield strength and tensile strength of type 304 stainless steel.

いる Petch の関係で整理されることがわかった。

また、冷却速度の影響を Fig. 3 に示す。引張強さは冷却速度の影響をほとんど受けず、各C量ごとにほぼ一定の値となっている。一方0.2%耐力は引張強さ同様、C量により異なるが、200°C/min から 20°C/min の間で冷却速度の低下にともなって大きく低下するのが認められる。

たとえば、250 mm 厚さの製品を考えた場合、Fig. 1 によると表面は 180°C/min の冷却速度であるのに対し、1/2T 部では 20°C/min であり、Fig. 3 の結果から、1/2T 部では表面に比べ 2~3 kgf/mm² の0.2%耐力の低下が予想される。この原因については現時点で明瞭ではないが、冷却速度が緩慢な場合の Cr 炭化物の析出により固溶C量が減少することも一因として考えられ

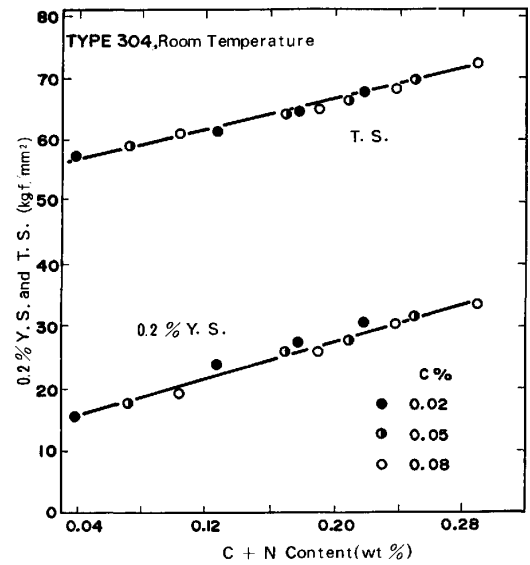


Fig. 4. Effect of (C+N) content on 0.2% yield strength and tensile strength of type 304 stainless steel.

る。

Fig. 3 から C 量の増加は強度上昇に有効であることが認められるが、N も同様強化元素として有効である。IRVINE ら³⁾によると、オーステナイト系ステンレス鋼の降伏強さに対する合金元素の固溶効果は次式で与えられる。

$$0.2\% \text{ Y.S. (t/in}^2\text{)} = 4.1 + 32N + 23C + 1.3\text{Si} + 0.24\text{Cr} + 0.94M_0 + 1.2V + 2.6\text{Nb} + 1.7\text{Ti} + 0.16\delta_{\text{Fe}} + 0.46d^{-1/2}$$

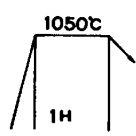
Y.S.; 降伏強さ, δ_{Fe} ; デルタフェライト量 (%)
d; 平均結晶粒径

Fig. 4 に (C+N) 量と強度との関係を示す。(C+N) 量が 0.04% から 0.28% と広い範囲に渡って直線関係が認められ、前述 IRVINE らの式と定性的ではあるが対応している。

冷却速度は肉厚、形状により定まるものであり、大型材製造にあたっては結晶粒ならびに化学成分とくにC、N量の調整を行う必要があるが、後述するごとく大型材では、ある程度以上の細粒化が困難であること、またC量は耐食性に影響をおよぼすことなどの問題があり、要求される諸特性とのかね合いで総合的な判断が必要となる。

また強度に関しては、高温強度、クリープ破断強度への諸因子の影響についての検討も行った。その詳細は他にゆずるが⁴⁾、高温強度は冷却速度、C、N量などの諸因子に関し、室温強度と同じ挙動を示した。またクリープ破断強度は冷却速度の影響を受けないが、結晶粒径の影響では、一般に言われているように粗粒ほど破断強

Table 1. Effect of cooling rate on intergranular corrosion resistance for type 304 stainless steel (0.076%C).

SOLUTION HEAT TREATMENT	COOLING RATE (°C/min)	TEST METHOD	
		JISG0571	JISG 0575
	2000	STEP	○
	300	DUAL	○
	100	DUAL	○
	30	DITCH	○
	20	DITCH	○
	10	DITCH	●
	5	DITCH	●

* JIS. G0571: 10%OXALIC ACID ETCHING
 ** JIS. G0575: CuSO₄+H₂SO₄+Cu (16H BOILING)
 *** ○: NO CRACK ●: CRACK

Table 2. Effect of cooling rate on intergranular corrosion resistance for type 347 stainless steel.

Cooling Rate (°C/min)	Sensitizing Treatment	Test Method		
		ASTM A262 A-Method	ASTM A262 E-Method	DIN 50914
70	560°C × 96 h 590°C × 96 h	Step	○	○
		Step	○	○
		Step	○	○
6	560°C × 96 h 590°C × 96 h	Step	○	○
		Step	○	○
		Step	○	○

* Solution heat treatment : 1150°C × 10 h
 ** ○ : No crack is observed
 *** ASTM A262-A : 10%Oxalic acid etching
 ASTM A262-E : CuSO₄+H₂SO₄+Cu (24 h Boiling)
 DIN 50914 : CuSO₄+H₂SO₄+Cu (15 h Boiling)

度は高くなり、(C+N)量の増加によつても強度が上昇する。

4.2 耐粒界腐食性

耐粒界腐食性におよぼす溶体化熱処理後の冷却速度の影響は Table 1 に示すとおりで、C量が高いこともあり、10% しゅう酸腐食試験においては、300°C/min 以下の冷却速度で軽微ではあるが、炭化物の析出が認められ、硫酸・硫酸銅腐食試験においては、10°C/min 以下で粒界割れを生じている。これを Fig. 1 と対比すると 150 mm 以上の厚肉材では、表面直下でも粒界炭化物の析出が認められ、肉厚 350 mm 以上となると、1/2T 部はかなり粒界が鋭敏化されることとなる。

一方、347 鋼の粒界腐食試験結果を Table 2 に示すが、冷却速度が遅くかつ、厳しい鋭敏化処理でも炭化物の析出または割れの発生は認められない。

なお Table 1 は 304 鋼でも C量が 0.076% と高いため粒界炭化物の析出が激しいものと考えられ、C量が

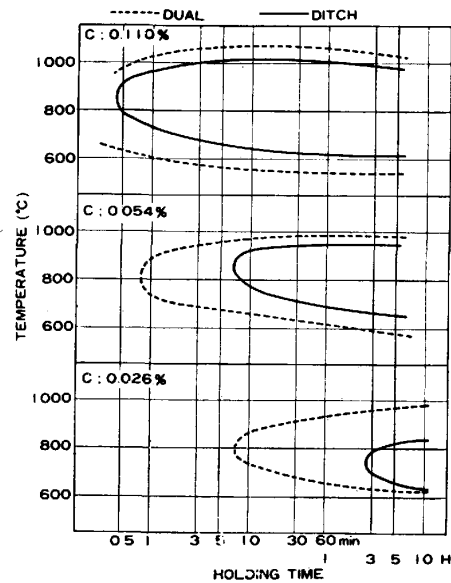


Fig. 5. TTS-Diagram evaluated by 10% oxalic acid etch test for type 304 stainless steel with various carbon content.

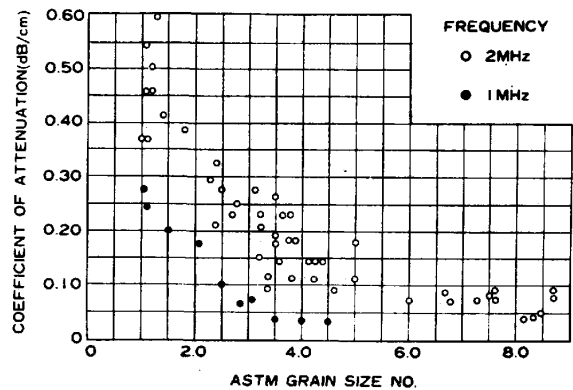


Fig. 6. Relationship between grain size and ultrasonic attenuation for austenitic stainless steel.

低下すると様相は異なるものと思われる。すなわち、Fig. 5 に示すように、粒界炭化物の析出挙動はC量の影響を強く受け、C量が多いほど粒界での Cr 炭化物の形成が容易となる。したがって、C量を低くすることが、耐粒界腐食性向上の条件となるが、前述の強さとの関連性もあり、使用条件などを考慮しつつ成分選択することが重要となる。

4.3 超音波透過性

ステンレス鋼の品質保証手段として、超音波探傷が重要な役割を果していることは言うまでもない。304 および 347 鋼の結晶粒度と超音波減衰定数との関係を Fig. 6 に示す。2 MHz よりも 1 MHz の方が減衰は小さいが、いずれにしても、結晶粒が ASTM No. 4 よりも粗大化すると急激に減衰が大きくなっている。しかしながら、近年超音波探傷技術の向上により、減衰定数 0.25

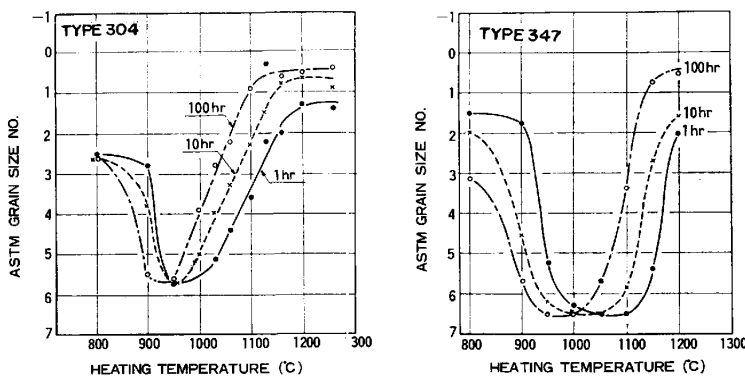


Fig. 7. Recrystallization behavior of 30% cold worked type 304 and 347 stainless steel.

dB/cm までは探傷可能となり、大型材においても結晶粒度 No. 1 以上であれば良いと言える。

また本報告では省略するが、同一粒度でも整粒状態に比べ、混粒状態では、超音波透過性が著しく劣るという結果も得ている⁵⁾。したがって超音波透過性の観点からは、細粒化と同時に整粒化を図ることが重要であろう。

4.4 再結晶挙動

304 鋼および 347 鋼の静的再結晶挙動を Fig. 7 に示す。加熱時間が長いほど再結晶開始温度が低温側に移行し、かつ結晶粒の粗大化が認められる。1h 保持の場合、一次再結晶は 900~950°C で開始し、304 鋼と 347 鋼間で差異はほとんど認められないが、二次再結晶（結晶粒成長開始）温度は 304 鋼が 1000~1030°C であるのに対し、347 鋼は 1100°C まで粒成長を開始しない。これは、347 鋼においては、Nb 炭窒化物がマトリックス中に析出し、このピンニング効果により粒界移動が阻止され、結晶粒の成長が抑制されるためと考えられる。したがって Nb 炭窒化物の固溶温度と二次再結晶温度とは良い対応性を有している⁶⁾。

オーステナイト系ステンレス鋼においては、その結晶粒の微細化を熱間加工および溶体化処理工程で行う必要がある。これらの工程は静的再結晶と本稿では省略したが、動的再結晶の組み合わせであり、各鋼種ごとに十分にこれら再結晶挙動を考慮した条件設定が必要である。

5. 大型ステンレス鍛鋼ディスク材およびフランジ材の製造と内部性状

5.1 製造要領

基礎試験結果を考慮しつつ、大型ステンレス鍛鋼ディスク材およびフランジ材の製造を行い、確性試験を実施した。

対象とした製品は、140 t 鋼塊より製造された 347 鋼および 75 t 鋼塊より製造された 304 鋼製大型ディスク材、45 t 平型鋼塊より製造されたグリッドプレート材

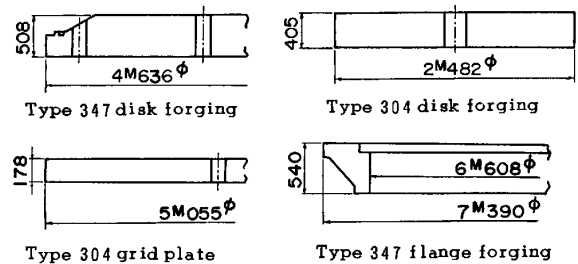


Fig. 8. Configuration of large size stainless steel forgings.

と 250 t 鋼塊より製造された 347 鋼製フランジ材であるが、それぞれの仕上げ形状を Fig. 8 に示す。

これら大型材の熱間加工を期待する効果および条件により以下の 3 段階に分け、この考え方にに基づき、熱間加工を行った。

- 第 1 段階; 低温加熱, 軽加工, 加工性の改善
- 第 2 段階; 高温加熱, 強加工, 内部欠陥消滅
- 第 3 段階; 低温加熱 (2 次再結晶温度以下), 強加工
結晶粒の微細化, 成形

とくに第 3 段階の結晶粒度調整段階では、前述の再結晶挙動を参考として、その形状、材質に応じた条件設定を行った。熱間加工は主として 10000 t プレスによつたが、比較的薄肉の 304 鋼製ディスク材は大型圧延機を併用した。溶体化熱処理温度は炭化物を完全に固溶させ、かつ結晶粒成長を防ぐために、304 鋼では 1050°C、347 鋼では 1080°C を選定した。

5.2 確性試験結果

5.2.1 化学成分

347 フランジ材の代表的な製品位置におけるチェック分析およびレドール分析値を Table 3 に示すが、いずれの位置においても一様な化学組成の分布状況を示している。

5.2.2 引張特性

Table 4 は 347 ディスク材の室温引張特性を示すが、Fig. 3 で予想されるとおり、冷却速度の違い 1/4T お

Table 3. Chemical composition of type 347 flange forging.

Location	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Nb	Co	N
A-1	0.040	0.74	1.70	0.022	0.008	9.7	18.0	0.66	0.03	0.0460
A-2	0.038	0.74	1.67	0.021	0.008	9.6	18.1	0.52	0.03	0.0416
B-1	0.035	0.73	1.66	0.020	0.007	9.6	18.0	0.58	0.04	0.0436
B-2	0.038	0.74	1.66	0.021	0.007	9.5	18.2	0.61	0.03	0.0410
Ladle	0.035	0.65	1.49	0.022	0.009	9.8	18.1	0.63	0.03	0.0412

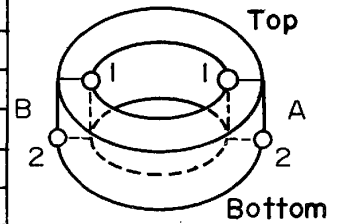
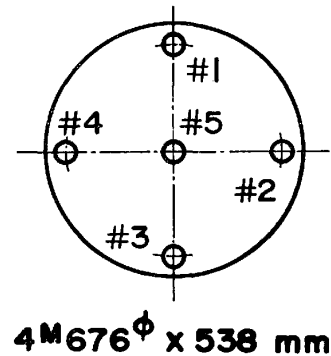


Table 4. Tensile properties at room temperature of type 304 disk forging.

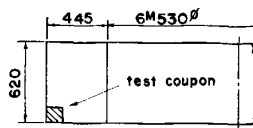
Location	Sample No.*	0.2% Y.S kgf/mm ²	T.S kgf/mm ²	El. %	R.A %
Surface	#5	25.9	56.8	56.8	74.5
1/4 T	#1	19.6	55.3	58.9	68.6
	#2	19.6	53.9	51.5	53.8
	#3	19.9	54.4	58.3	68.1
	#4	19.6	54.9	59.3	71.4
	#5	20.0	54.1	53.2	63.4
2/4 T	#5	21.9	50.2	31.1	43.7

★ Sample NO.



4M676φ x 538 mm

Properties	Test at Direction	Room Temp.		350°C	
		Yield strength kgf/mm ²	A	27.7	18.5
Tensile strength kgf/mm ²	T	27.6	17.0	57.4	37.8
	R	57.2	38.4	53.9	38.2
Elongation %	A	52.8	36.3	58.0	39.4
	T	54.0	37.5	65.2	68.1
Reduction of Area %	R	66.9	74.0	69.8	58.4



A : Axial
T : Tangential
R : Radial

Fig. 9. Tensile properties of type 347 flange forging.

よび 1/2T 部で降伏強さの低下が認められたが、なおこの材料は板厚が 538 mm と極端に厚く、低C量であったことがさらに原因として加わっていると推定される。また 1/4T 部における引張特性は、同結果に示すようにいずれの位置でもほぼ均一であった。

347 フランジ材の軸、周および径方向の室温および 350°C 高温引張試験結果を Fig. 9 に示す。同製品の製造にあたっては、極力異方性を無くするよう鍛造歪みの配分を考慮した加工法を採用したものであるが、同結果から明らかのように、肉厚 445 mm でも良好な引張特性を示している。

5.2.3 耐粒界腐食性

Table 5 に各ディスク材およびフランジ材の板厚位置

Table 5. Results of intergranular corrosion test.

PRODUCTS	THICKNESS (mm)	LOCATION				
		0/4T	1/4T	2/4T	3/4T	4/4T
304 DISC FORGING*	515	○	●	●	●	○
304 GRID PLATE*	178	○	○	○	○	○
347 DISC FORGING**	538	○	○	○	○	○
347 FLANGE FORGING***	495	○	○	○	○	○

* JIS G 0575 CuSO₄ + H₂SO₄ + Cu (16H BOILING)
** DIN 50914 CuSO₄ + H₂SO₄ + Cu (15H BOILING)
*** ASTM A262-E CuSO₄ + H₂SO₄ + Cu (24H BOILING)
○ NO CRACK ● MICRO CRACK ● LARGE CRACK IS OBSERVED.

に対応する粒界腐食試験結果を示す。なお同結果において、347 フランジ材の 0/4T は内表面、4/4T は外表面位置をそれぞれ示している。

板厚 515 mm の 304 鍛鋼ディスク材においては、溶体化熱処理状態でさえ、冷却速度の緩慢な 1/4T~3/4T 部に粒界割れが認められたのに対し、同程度の厚さの 347 ディスク材およびフランジ材においては、溶体化熱処理後それぞれ 580°C×12.5 h または 650°C×30 h の鋭敏化処理でも粒界割れは確認されなかった。

5.2.4 結晶粒度および内部性状

ディスク材およびフランジ材の各板厚位置に対応する部分の結晶粒度測定結果を Table 6 に示す。同表中 347 ディスク材のみ、先の Table 4 に示したと同一の試料番号ごとに粒度測定を行つているが、きわめて均一な粒度分布を示している。同表最下段の 455 mm 347 鋼の場合もきわめて均一細粒の結晶粒度分布状態である。こ

Table 6. Results of grain size measurement.

Type	Products	Sample No. *	Location					Thickness (mm)
			0/4T	1/4T	2/4T	3/4T	4/4T	
347	Disk forging	#1	2.1	2.4	1.7	2.5	2.1	538
		#2	3.6	2.6	2.3	2.4	1.7	
		#3	2.5	2.5	2.3	1.7	2.1	
		#4	3.7	2.2	2.5	2.4	3.7	
		#5	2.9	2.1	2.9	2.9	2.4	
304	Disk forging	-	0.4	0.4	0.1	0.2	0.4	515
304	Grid plate	-	2.5	3.0	2.7	3.2	2.3	178
347	Flange forging	-	5.0	4.9	4.8	4.3	4.4	445

* Sample No. is shown in Table 4

れに対し、304 鋼の場合 178 mm までは比較的良好な結晶粒度であったが、515 mm のものは、全体に粗粒であり、この厚さの 304 鋼の粒度改善は今後の課題である。

これらディスク・グリットプレートおよびフランジ材の全製品について超音波透過性試験を実施したが、いずれの製品においても良好な透過性を示した。これら製品のうち、304 グリットプレート材の超音波透過性試験結果においては、少なくとも 3 回の底面反射波が得られたことから、最小 2 mmφ 中に相当する内部欠陥の検出が可能と推定される。

またこれらの製品の超音波および染色探傷の結果、いずれの製品においても記録すべき欠陥は検出されず、健全な内部性状であることが確認された。

以上の結晶粒度および内部性状に関する試験結果から判断して、前述の熱間加工に対する基本的な考え方の妥当性が確認された。

6. む す び

ステンレス鍛鋼の極厚大型化にともない必然的に生じる結晶粒度、冷却速度などの問題および化学成分が 304、347 鋼の引張強度、耐粒界腐食性、超音波透過性などの諸特性におよぼす影響について基礎試験により検討を加え、下記の結論を得た。

(1) 冷却速度の低下により降伏強さの低下が大きく、引張強さはほとんど変化しない。しかし結晶粒度、(C+N) 量は降伏強さ、引張強さのいずれにも大きな効果を有する。

(2) 冷却速度の低下と C 量の増加により 304 鋼の耐粒界腐食性が著しく損われるが、しかし 347 鋼ではその影響が少ない。また結晶粒度は耐粒界腐食性に対し、ほとんど影響を有しない。

(3) 304 鋼に比べ 347 鋼では結晶粒成長に対し抑制効果を有し、熱間加工温度範囲を広く取ることができる。

(4) 結晶粒度と超音波透過性との関係について調査

した結果、結晶粒度 ASTM No. 4 以上で超音波の減衰が大きくなるが、実用的には粒度 No. 1 以上でも探傷可能である。

これら基礎試験データに基づき、板厚 178~538 mm の極厚大型ディスク材およびフランジ材を製造し確信試験を行つた。結果をまとめ下記に示す。

(i) 304 鋼、347 鋼ともに肉厚内部において降伏強さの低下が認められる。

(ii) 結晶粒度の分布については、いずれの材料も均一な分布状態であったが、304 鋼は 347 鋼に比べ全体に粗粒であった。

(iii) 粒界腐食に対する抵抗性は、化学成分と溶体化熱処理後の冷却速度に強く影響され、304 鋼では、515 mm 内部の抵抗性は劣る。しかし、347 鋼では Nb による耐粒界腐食性改善の効果は極めて明瞭で、538 mm の場合でもすべての位置においてすぐれた抵抗性を示した。

(iv) すべての調査した製品材について、全面超音波探傷試験を実施したが、音波の透過性は良好であり、また、製品内部はいずれも無欠陥であった。

今後、ステンレス鍛鋼品に対する大型化の要求が高まってくる中で、大型化にともなう問題を製造技術の開発により補いかつ質量効果から派生する諸特性を把握しつつ、さらに品質改善へ結びつける努力が今なお続けられている。

文 献

- 1) 徳田 昭, 大西敬三, 石坂淳二, 小野内善一: 日本製鋼所技報, (1972) 31, p. 18
- 2) 前川静弥, 徳田 昭, 大西敬三, 小野内善一: 日本製鋼所技報, (1973) 33, p. 1
- 3) K. J. IRVINE, T. GLADMAN, and S. B. PICKERING: JISI, 207 (1969), p. 1017
- 4) 石黒 徹, 大西敬三, 渡辺十郎: 学振耐熱金属材料第 123 委員会研究報告, 19 (1978), p. 451
- 5) K. SUZUKI, H. TSUKADA, I. SATO, K. OHNISHI, and M. KUSUHASHI: 19 émes Journées des Aciers Spéciaux "International Colloquim on Stainless Steels" at Sainte Etienne, 7-9, May (1980)
- 6) 大久保延弘: ステンレス鋼便覧(長谷川正義編), (1979), p. 64 [日刊工業新聞社]