

高温高压用特殊鋼管の製造と品質*

原 田 芳**

Manufacture and Quality of Special Steel Tubes for High Temperature and High Pressure Service.

Kaoru Harada

I. 緒 言

当社は古くから各種各様のボイラ管を製造してきたがとくに昭和 27 年以降は火力発電計画の急速な進歩に即応して、大容量の火力発電用ボイラに使用される各種の高温高压用鋼管の品質と製造法に、多くの技術的改良を加えてきた。ここにそれらのおもな事項について概要ではあるが、総括して報告する。

(1) 高温高压用ボイラ管の製造状況

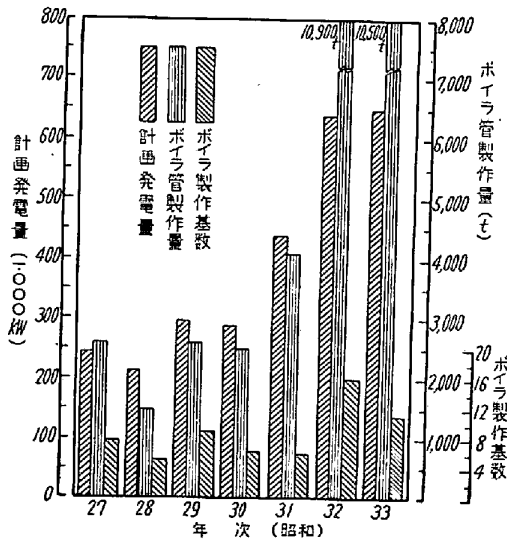


図 1 高温高压用ボイラ管の製造状況 (ボイラ管製作時より見た発電量およびボイラ管製作量)

図 1 は、当社が昭和 27 年から昭和 33 年までに製造した発電用ボイラ管の製造量、その対象となつた。発電用ボイラ基数およびそのボイラによる計画発電量を示す。すなわちこの 7 年間に鋼管として約 4 万 t、ボイラとして 60 罐 (発電量として 280 万 kW) が製造され、その最大のピークは昭和 32 年であつた。

(2) ボイラの使用条件の向上

図 2 は、鋼管の製造年次別に、その年次のボイラの使用条件、すなわち蒸気温度、蒸気圧力、蒸発量および発電量の最高のものを示したものである。

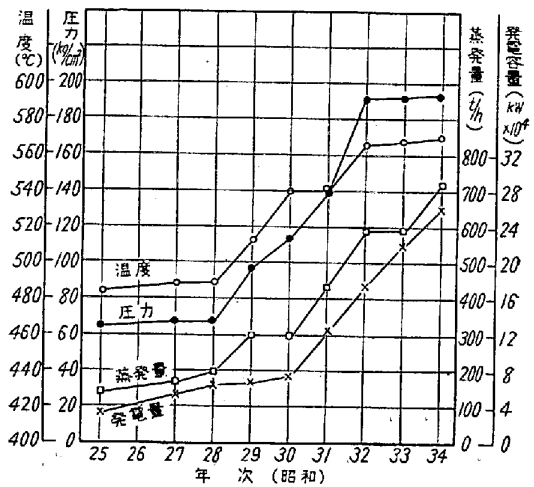


図 2 鋼管の製造年次によるボイラ諸条件の推移

戦前から昭和 24 年までは 450°C、45 kg/cm²、100 t/h、3.5 万 kW の発電所が最高水準であつたが、昭和 25~28 年で第 1 段階の発展を示し、485°C、65 kg/cm²、130~200t/h、3.5~5.5 万 kW の水準に達した。さらに昭和 29~31 年では飛躍的な発展をとげ 510~540°C、100~140 kg/cm²、300~450t/h、7.5 万~12.5 万 kW となり、引続き昭和 32 年以降 566°C、170~190 kg/cm²、600~800t/h、15.6 万~26 万 kW と世界の最高水準に到達した。

このように蒸気温度と蒸気圧力の上昇、ボイラ容量の増大とともにボイラの構造も改良され、火炉は輻射型となり、ボイラタービンの unit system、再熱サイクル、さらに強制循環方式などの採用がおこなわれた。

(3) ボイラ条件の向上による対抗するボイラ用鋼管の進歩と製造上の対策

上記のようにボイラの使用条件の向上にともない、これに使用するボイラに要求される品質も高度のものとな

* 昭和 34 年 4 月本会東京大会にて渡辺(三郎)賞受領特別講演

** 住友金属工業鋼管製造所副所長

つてきた。そのおもな事項をつぎに列記する。

a) 温度の上昇に応じて高温強度および耐酸化性の高い鋼種が必要となった。この期間中にボイラ用の新鋼種として製造したものは 0.5 Mo 鋼, 1Cr 0.5Mo 鋼, 1.25 Cr·0.75 Si·0.5 Mo 鋼, 2.25 Cr·1Mo 鋼, 3 Cr·1Mo 鋼, 9 Cr·1Mo 鋼, 18-8-Ti 鋼, 16-13-Mo 鋼 などである。

b) 温度, 圧力, 容量の増加に応じて管の寸法が大きく変化し, とくに蒸気管においては肉厚が 100 mm を越え, 再熱蒸気管では外径が 600 mm を越えるものが必要となった。

c) 温度の上昇により, 炭素鋼や Mo 鋼に対しては黒鉛化の防止対策が必要となった。

d) 使用条件の向上とともにとくに unit system の採用により, 多数の鋼管の中で 1 本でも事故があると直ちに大容量の発電機が停止するので, 管の欠陥の絶無という点がとくに要求された。

以上のような要求に対して, 過去数年来とつてきた方策は概略つぎの通りである。

第 1 に成品に要求される品質を満足すべき製造の基本条件を明らかにする。たとえば製鋼における脱酸法, ガス含有量または最終の熱処理などの最適条件を長時間クリープ試験, 溶接試験, 顕微鏡組織の調査などをおこなって決定する。

第 2 にこれらの製造条件に基づいて試作をおこない,

標準作業の条件を設定し, 同時に品質保証のための工程検査および最終検査の項目, 方法を決定する。とくに金相的試験, すなわち破疵試験, 非金属介在物試験, マクロ試験, 顕微鏡組織試験, 結晶粒度試験などを工程検査として採用した。

第 3 に実際の生産に際してはこれらの高温高圧用鋼管のための製造作業標準および試験検査標準を新たに制定し, 工程途中および最終製品について厳密な管理と検査をおこなった。

第 4 に設備的に製管機, 熱処理設備の新設および改造をおこない, また検査方法の改良, 非破壊検査設備の新設をおこなって, 品質の確保と欠陥の発見, 防止に努力してきた。

II. 高温高圧用鋼管に要求される性質

(1) ボイラ用鋼管に使用されるおもな材質

ボイラ管の主要材質は表 1 に示す通りで炭素鋼, Mo 鋼, Cr-Mo 鋼およびオーステナイト・ステンレス鋼である。とくに過熱器管は低温部から最終端まで次第に蒸気を過熱するので, 各種の材料が直列に使用される二, 三の実例を図 3 に示す。さらに表 2 は代表的なボイラについて各鋼種の使用されている比率を表わしたものである。

(2) 高温における強さ

ボイラ用鋼管の寿命は約 20 年として設計されてい

表 1 ボイラ管に使用されるおもな材質

材 質	化 学 成 分 (%)					用 途
	C	Ni	Cr	Mo	その他	
0.15C	0.08~0.18	—	—	—	—	蒸発管, 節炭器管 (温度450°C以下の管)
0.25C	<0.32	—	—	—	—	蒸発管, 節炭器管, 各種管寄
1/2 Mo	0.10~0.20	—	—	0.45~0.65	—	過熱器管 (低温部), 再熱器管
1 Cr·0.3Mo	0.10~0.20	—	0.80~1.20	0.20~0.45	—	過熱器管, 管寄
1 Cr·1/2 Mo	≤0.15	—	0.80~1.20	0.45~0.65	—	過熱器管, 再熱器管 各種管寄, 蒸気管
1 1/4 Cr·1/2 Mo	≤0.15	—	1.00~1.50	0.45~0.65	Si 0.50~1.00	過熱器管, 再熱器管 再熱蒸気管, 管寄
2 1/4 Cr·1 Mo	≤0.15	—	2.00~2.50	0.90~1.10	—	過熱器管, 再熱器管, 主蒸気管
9 Cr·1 Mo	≤0.15	—	8.00 ~10.00	0.90~1.10	—	再熱器管
18-8-Ti	0.08以下	9.00 ~13.00	17.00 ~20.00	—	Ti 5×C% ~0.60	過熱器管
18-8-Cb	0.08以下	9.00 ~13.00	17.00 ~20.00	—	Cb 10×C% ~1.00	過熱器管, 蒸気管
16-13-2Mo	0.08以下	11.00 ~14.00	16.00 ~18.00	2.00 ~3.00	—	過熱器管, 蒸気管

表2 鋼管の材質別使用比率の例

ボイラ 条 件	発 量 電 kW	66,000	75,000	125,000	156,000	220,000	265,000
	圧力~温度 kg/m ² ~°C	65~490	106~540	140~540	190~566	193~566	175~566
炭 素 鋼	0.15C	70	65	12	45	30	27
	0.25C	8	7	44	8	15	12
特 殊 鋼	1/2 Mo	15	8	10	8	15	21
	1Cr・1/2Mo	7	4	8	2	5	3
	1 ¹ / ₄ Cr・1/2Mo・Si	—	11	16	16	13	21
	2 ¹ / ₄ Cr・1Mo	—	5	10	17	20	14
	18-8-Ti	—	—	—	2	2	2
	そ の 他	—	—	—	—	2	0.5
ボイラ管総量 (t) %		360 100	730 100	1,320 100	1,500 100	2,120 100	2,700 100
備 考		輻射型 自然循環	輻射型 自然循環	再熱式 自然循環	再熱式 強制循環	再熱式 強制循環	再熱式 強制循環

鋼種	温度 圧力	485~490	510~540	570~	記号
		63~68	100~150	150~200	
0.15C		○	○	○	HCO
0.30C		○	○	○	H30
0.15Mo		○	○	○	HCK
1/2 Mo		○	○	○	HCKS
1Cr・0.3Mo		○	○	○	HCM
1Cr・1/2Mo		○	○	○	HCMS
1 ¹ / ₄ Cr・1Mo		○	○	○	HCMT
2 ¹ / ₄ Cr・1Mo		○	○	○	HCM2
9Cr・1Mo		○	○	○	HCM9
オーステナイト ステンレス鋼				○	ST2-C6 ST2-Ti ST4

図3 過熱器管における鋼種使用系列

る。したがって高温強度の値としても10万時間に1%の伸びまたは10万時間のクリープ・ラプチュア強度を基礎として許容応力が定められる。JIS および ASME

で規定されている各材質の許容応力を表3に示す。これらの許容応力を満足するかどうかを知るためには、少なくとも3000h普通10,000h以上のクリープ試験が必要である。

(3) 耐酸化性について

図4は各材質の高温特性を示したもので、左の欄は0.01%/1000hのクリープ強度を中央の欄は0.01%/1000hのクリープ強度が2kg/mm²、10⁵hのラプチュア強度が3kg/mm²を示す最高温度を、右の欄は過熱器管として通常使用されている最高温度と耐酸化性のみを考えた最高温度とを示している。

(4) 管の工作性の良好さ

ボイラ管としては常温曲げおよび高温曲げまたは拡管作業がおこなわれる。このために他の性質をあまり犠牲にすることなく、できる限り柔軟性のあることが必要である。また最近では溶接加工が広くおこなわれ、電弧溶接

表3 許容応力と適用範囲 (註: 太字は通常適用される範囲)

材 質 型 式	許 容 応 力 kg/mm ²										材 質 記 号
	30~ 40°C	400	450	500	525	550	575	600	625	650	
0.5 Mo	9.8	9.8	9.3	7.0	4.8						HCKS
1 Cr・0.3 Mo	10.5	10.5	10.0	7.5	5.2	2.9	(1.8)	(1.0)			HCM
1 Cr・0.5 Mo	10.5	10.5	10.0	8.3	6.5	4.5	(3.0)	(1.7)	(1.0)	(0.7)	HCMS
1 ¹ / ₄ Cr・3/4 Si・1/2Mo	10.5	10.5	10.0	8.3	6.5	4.8	3.5	(2.5)	(1.6)	(0.8)	HCMT
2 ¹ / ₄ Cr・1Mo	10.5	10.5	10.0	8.3	6.5	4.9	3.7	2.7	(2.0)	(1.4)	HCM2
18Cr・8Ni・Ti	13.0	10.3	10.1	9.8	9.6	9.4	8.6	6.8	5.1	3.5	ST2-Ti
18Cr・8Ni・Cb	13.0	10.3	10.1	9.8	9.6	9.4	8.6	6.8	5.1	3.5	ST2-Cb

鋼種 材質型式	高温クリープ強度 $\frac{kg}{cm^2}$					等強度指示温度 $^{\circ}C$				耐用限界温度 $^{\circ}C$				
	2	4	6	8	10	550	600	650	700	400	500	600	700	800
0.15Cキルド鋼	[Graph]					70-75強度 $\frac{kg}{mm^2}$ 70-75強度 $\frac{kg}{mm^2}$				は熱管使用最高限 対酸化性使用最高限				
1/2 Mo	[Graph]					550 $^{\circ}C$				[Graph]				
1Cr-1/2Mo	[Graph]					550 $^{\circ}C$ 600 $^{\circ}C$				[Graph]				
1/4Cr-1/2Mo-Si	[Graph]					550 $^{\circ}C$ 600 $^{\circ}C$				[Graph]				
2/4Cr-1Mo	[Graph]					600 $^{\circ}C$ 650 $^{\circ}C$				[Graph]				
5Cr-1/2Mo	[Graph]					600 $^{\circ}C$ 650 $^{\circ}C$				[Graph]				
9Cr-1Mo	[Graph]					600 $^{\circ}C$ 650 $^{\circ}C$				[Graph]				
18Cr-8Ni-Ti	[Graph]					600 $^{\circ}C$ 650 $^{\circ}C$				[Graph]				

図4 高温高圧ボイラ用鋼管の高温特性の一例

はもちろんフラッシュバット溶接, 抵抗溶接, ユニオンメルト溶接, 不活性ガス溶接などに対する溶接性が良好であることが必要で, これらの溶接に対する溶接条件の設定が重要である。

(5) 高温長時間加熱に対して安定性があること

内圧などによる応力の存在の下で長時間高温にさらされた場合, 組織の変化により, 脆化を起すことを防止する必要がある。炭素鋼や Mo 鋼の主蒸気管の溶接部に発生した黒鉛化による事故, オーステナイト鋼の厚肉管の溶接部付近に生じた亀裂, 異材溶接部の炭素の migration はその例である。

これらの対策としては使用温度に適当な材質の選定, 製鋼または熱処理条件あるいは溶接後の熱処理条件の選び方について適切な処置を講ずることが必要である。

(6) 耐食性

ボイラ管には点食, アルカリ脆化, 応力腐食などの事故が発生することがある。これらは給水処理, 罐水処理と密接な関係があり, 今後, なお研究すべき問題が残されている。このほかに sulphur attack や vanadium attack などの腐食も今後の重要な問題である。

III. 製造上の主な問題点について

高温高圧用鋼管は前述のように高度の要求を課せられているので, 製造上にも慎重な注意が必要である。そのおもなるものをあげるとつぎの通りである。

- a) 適切な良質鋼塊の製造
- b) 寸法精度, 真直度, 均一性の確保

- c) 疵その他の有害な欠陥の防止
- d) 品質を保証, 確認する適当な試験, 検査の実施
- e) 材料特性の確認と製造の条件を規定する研究, 実験の促進

さらに作業上の指標としては

- i) 製造作業標準の確立
- ii) パイロット試験方法の採用
- iii) 工程検査および試験の実施
- iv) 品質管理の徹底

をあげることができる。

つぎに上記の点につき, 具体的な点をのべることとする。

(1) 鋼管製造法

発電用大型ボイラに使用される代表的な鋼管の材質, 寸法の例をあげると表4の通りである。そしてこれらの鋼管の製造法として当社で採用しているものは図5の通

表4 ボイラ用主要鋼管の材質および寸法例

種別	材質	摘要	主要寸法例 (外径×厚サmm)
蒸発管	低炭素キルド鋼	自然循環	76.2×5~8 62.7×5~8
		強制循環	31.7×4~4.5 38.1×4.5~5.5
節炭器管	キルド鋼 (0.15~0.3C)	490°C級	50.8×4~6
		540°C級	63.5×5.5~6.5
過熱器管 再熱器管	1/2 Mo 1Cr 1/2 Mo	490°C級	50.8×5~6.5
	1Cr-1/2 Mo 2 1/4Cr-1Mo	540°C級	50.8×5~9.5 54×5~9.5
	1 1/4Cr-1/2Mo 2 1/4Cr-1Mo 18-8-Ti	570°C級	54×9~12.5 57.2×9~10
主蒸気管	1Cr-1/2Mo	510°C級 (300t/h)	310×30 250×25
	2 1/4Cr-1Mo	566°C級 (500~700t/h)	560×110 457×100
再熱蒸気管	1 1/4Cr-1/2Mo	500t/h級	508×25 406×21
	2 1/4Cr-1Mo	700t/h級	710×45 508×35
給水管	0.2~0.3C	300t/h級	200×22 260×30
	炭素鋼	500t/h級	355×48 216×29

りである。

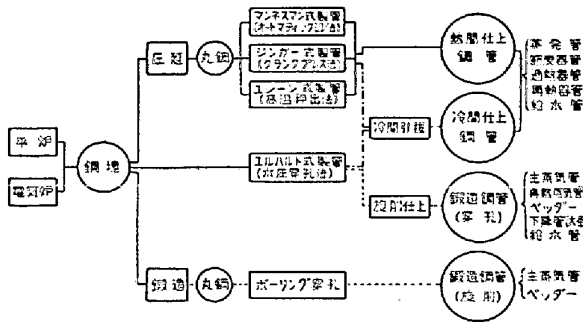


図 5 高温高圧用鋼管の製造系統

これらの製管機においてマンネスマン式製管機は蒸発管、過熱器管の長尺、厚肉管を製造するための改造がおこなわれ、エルハルト式製管機は主蒸気管の大径、厚肉化に対応して、既存設備のほかに新たに 3000 t 縦プレス、1500 t 横プレスが新設され、ユジーン製管機は過熱器管としてオーステナイト鋼が使用されるのに対応するために新設された。このほかに合金鋼の特殊な熱処理のために連続式光輝焼鈍炉、バレル炉が新設された。

(2) 炭素鋼鋼管

炭素鋼のボイラ管は合金鋼の過熱器管などのような高温では使用されない。主として蒸発管、節炭器管や過熱器の低温部につかわれる。しかし一般の鋼材に比べれば勿論高温で使われ、とくに最近の高温のボイラでは飽和水温も上がるので金属温度としては 350°C から 400°C に上がることも考えられる。したがって炭素鋼のボイラ管もクリープ強度のよいものが必要である。クリープ強度に対する多くの因子を検討した結果、炭素鋼の場合は脱酸条件により大きく左右されることがわかった。図 6 は高周波炉、電気炉、平炉で溶解した炭素鋼のクリ

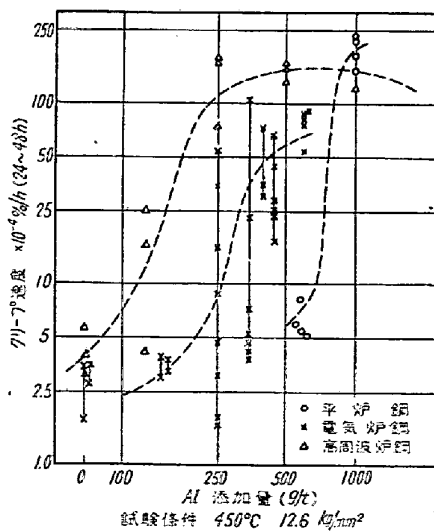


図 6 炭素鋼のクリープ速度と Al 添加量の関

ープ強度に対する Al 添加量の影響を調べたもので、450°C、12.6 kg/mm² の下で 100 h のクリープ試験をおこなった場合のクリープ速度と Al 添加量の関係を示す。平炉、電気炉、高周波炉で、それぞれの量は異なるがある程度以上の Al が加えられるとクリープ強度はいずれもいちじるしく低下する。すなわち、いわゆる Al-killed steel は高温強度の面でボイラ用としては適性でなく、Al をある制限値以下にすることにより良好なクリープ強度のものが得られ、これはいわゆる Si-killed steel の範囲に入る。この関係はオーステナイト粒度とも密接な関係をもち、粗粒のものは良好なクリープ強度を示すので、この点からも生産品の管理をおこなうことができる。図 7 は Al を多く加えてクリープ強度の低下

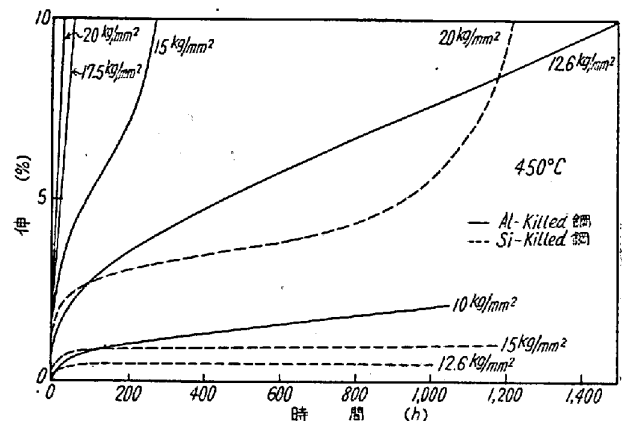


図 7 Si-killed 鋼と Al-killed 鋼の長時間クリープ曲線

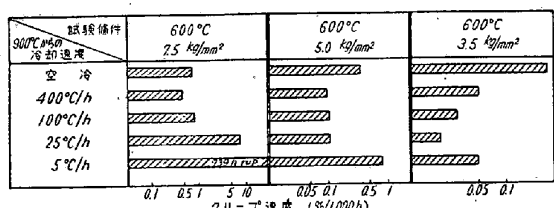
しているものと Al 添加量を controll されたクリープ強度の良好なものについて 450°C で長時間のクリープ試験をおこなった結果である。実線は Al-killed 鋼で粒度は細かく、点線は Si-killed 鋼のボイラ用の材料で、これは粗粒である。同じ 20 kg/mm² に対し Al-killed 鋼は 69 h、Si-killed は 20 倍以上の 1400 h で破断しており、15 kg/mm² でも前者は 339 h で破断し、後者は 1000 h でもまだ伸び 1% に達していない。このように、ボイラ管の材料としてはクリープ強度の確保のためには、Al 含有量を制限した Si-killed 鋼が必要であるが、同時にボイラ管として必要な他の特性すなわち、曲げ加工、拡管加工が容易で、かつ溶接性の良好なことが必要であり、このためには Si 量を制限する必要がある。このように、Al および Si の量のある範囲に制限すると鋼塊のピンホールがある程度発生することは避けられない。

上述のような点を考慮して、ボイラ用炭素鋼管の製造に当つては、使用する溶解炉、鋳塊の大きさごとに Al

および Si の添加量を規定し、これにより材料のクリープ強度を確保し発生した鋼塊のピンホールは圧延後、鋼片を外削することによって、取除き、さらに製管後焼鈍を施すことにより常温の加工性を良好にする処置をとることとしたのである。

(3) Cr-Mo 鋼管と熱処理

ボイラ用のフェライト系合金鋼としては各種の Cr-Mo 鋼が使われることはさきに述べたとおりであるが、2 1/4 Cr-1Mo, 9Cr-1Mo のように合金元素が多く hardenability が大きい材料について常温では充分軟かく、加工性が良好でしかも使用温度では高いクリープ強度をもたせるためにもつとも重要なことは熱処理条件をいかに選定するかにある。2 1/4 Cr-1Mo 鋼では完全焼鈍に際して 100°C/h 前後の徐冷をおこなうと、ferrite+bainite+pearlite の組織が得られ常温の機械的性質が良好で同時にクリープ強度が高く、ボイラの過熱器管として適当な性質が得られる。この熱処理を決定するためにおこなった実験の結果の 1 例をつぎに示す。図 8 は種々の冷却



(註) クリープ速度: 7.5, 5.0 kg/mm² は 500~1000 h, 3.5 kg/mm² は 100~2000 h の平均クリープ速度

図 8 2 1/4 Cr-1Mo 鋼の熱処理条件とクリープ速度

速度で 900°C から冷却した 2 1/4 Cr-1Mo 鋼の 600°C におけるクリープ速度を比較したものである。7.5 kg/mm² という高い応力では空冷、あるいは、400°C/h といった常温で硬い状態のものがクリープ速度は小さいが応力が低くなるとこの関係は逆転して 3.5 kg/mm² では 100°C/h および 25°C/h で徐冷したものがもつともクリープ速度が小さい。この材料の 600°C における許容応力は 2.7 kg/mm² であるから、実際の使用条件はこの応力以下で使用されるのが普通であり、したがって、熱処理条件としては、低い応力に対して、クリープ速度の小さい方を選定する必要がある。当所ではクリープ強度の確保と生産性を考慮して、過熱器管として使われるような場合冷却速度 100°C/h 前後の完全焼鈍を施すこととした。5Cr, 9Cr になると 2 1/4 Cr-1Mo のように一部 bainite の出た状態では軟かいものを得ることが困難となる。したがって 50~25°C/h 前後の徐冷が、等温変態により完全に pearlite 段階で変態を

完了させることが必要である。このように熱処理されたものは 9Cr-1Mo 鋼でも常温の引張強さ、硬度、その他は 1Cr-1/2 Mo 鋼とほとんどかわらぬ値を示し、クリープ強度も所期の強度をもつたことが種々試験により確認された。このように Cr-Mo 鋼では熱処理が重要であるので 900~950°C で酸化を起さぬ雰囲気をもち任意の冷却速度の調整可能な炉を設定するとともにその結果をチェックするために標準の顕微鏡組織を定め、これによって管理をおこなった。熱処理とともに先に炭素鋼についてのべた脱酸条件もクリープ強度の面から考慮されねばならぬ問題である。この詳細は本文では省略するが炭素鋼同様脱酸に使用する Al の添加を制限し、粗粒のオーステナイト粒度の鋼を製造することが必要である。このように生産された各種の Cr, Mo 鋼の諸性質について外国の同種の材料と比較しても、とくに劣ることなく、すぐれた成績を示すことが確かめられている。図 9 は 2 1/4 Cr-1Mo 鋼についての、米国、英国、ドイツ、フランスのクリープ・ラプチュア強度のデータと当所の試験成績を比較したものである。

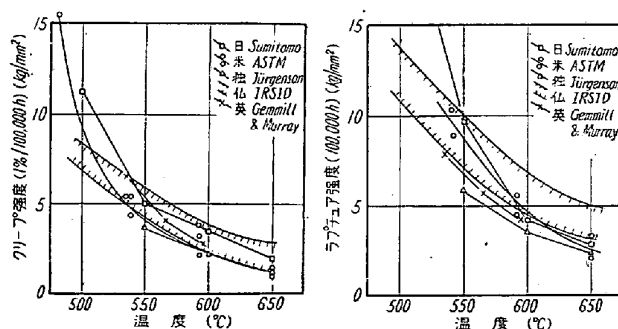


図 9 2 1/4 Cr-1Mo 鋼の外国の data との比較

(4) オーステナイト・ステンレス鋼管

最近の高温高圧ボイラでは過熱器管として、オーステナイト・ステンレス鋼を必要とする段階に達し、ASTM TP 321 (JIS STB 52 D) の 18-8 Ti ステンレス鋼がわが国でも使用されていることはすでに述べたとおりである。この材料についての問題点の一つとして、米国でこの材料を過熱器管として使用中、膨出、破損の事故がかなり多数おこり、ASTM-ASME Joint-Committee で問題にされているので、まずその概要を述べる。事故を起した管について調べた結果によると

- a) 膨出した管はすべて結晶粒度が細粒で、ASTM, No.8 または No.8 以上であつた。
- b) 膨出した管についてのクリープ・ラプチュア試験の結果はラプチュア強度が低かつた。すなわち、650°C, 1000 h のラプチュア強度は 10 kg/mm² 以下であ

る。

c) 結晶粒度が細かく、ラプチュア強度の低い材料を 1090°C 以上で再加熱すると粒度は粗くなり、ラプチュア強度も良くなった。

と報告されている。これに関連してわれわれの方でおこなった試験について詳細は別に報告するが図 10 は

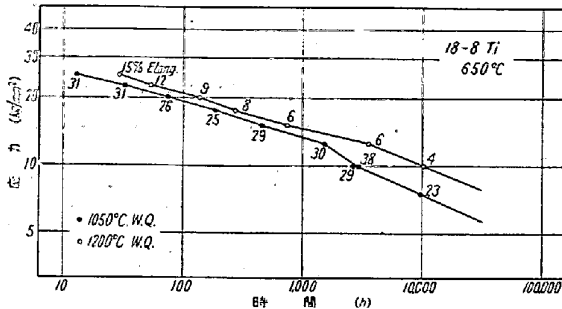


図10 18-8-Ti ステンレス鋼応力-破断時間の関係

当所の材料について 1050°C W.Q. または 1200°C W.Q. したものである。1200°C W.Q. のものの方がラプチュア強度が高いが、1050°C W.Q. のものも、1000h のラプチュア強度は、13.3 kg/mm² で 10 kg/mm² 以下といった異常な低い値は示していない。他方図にも示すようにラプチュア伸びは 1200°C W.Q. のものはいちじるしく低く、この点に危険性がある。米国における事故は、最近のことであるがわれわれはクリープ強度とラプチュア伸びとの関係から、1050~1100°C W.Q. 熱処理をして、結晶粒度はあまり細くない状態のものが、適当であろうと考え、このような熱処理を施してきたが、この考えは妥当であったと考えられる。オーステナイト・ステンレス鋼の粒度調整は最終熱処理だけで決定されるのではなく、それ以前の冷間加工度その他の多くの条件に支配される。したがって各工程の作業を標準化することが必要であり、また製品については、顕微鏡組織によりチェックをおこなう必要がある。

オーステナイト・ステンレス鋼の製造に当っては、この外に熱間加工性をチェックする高温振り試験、冷間圧延法の採用、蛍光探傷法による欠陥の検査などをおこない、製品の品質確保に務めた。さらに、10,000h に達するクリープ試験 (図 10 参照) の外に図 11 のように 10,000h 以上の長時間加熱による組織、衝撃値の変化の試験をおこなって品質保証の裏づけをおこなった。それとともに溶接に関する組織的研究もおこない、使用者の便を計った。

(溶接に関する研究は「住友金属」 Vol. 11 No. 1 (1959) p. 22 参照)

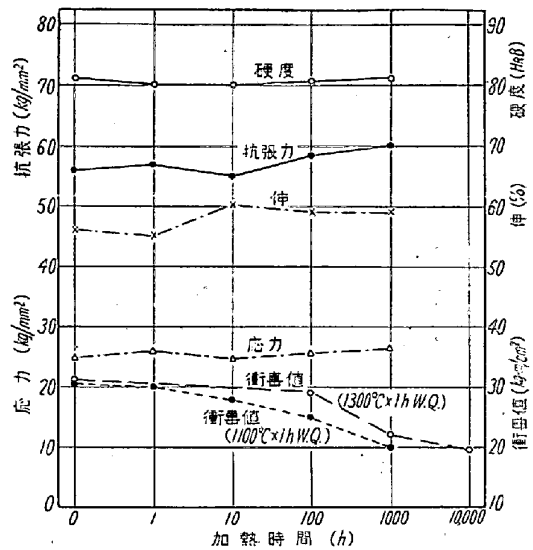


図11 18-8-Ti ステンレス鋼の長時間加熱による機械的性質の影響

(5) 大径厚肉鋼管について

a) 大径厚肉鋼管

ここでいう大径厚肉鋼管は表 4 に示した主蒸気管、再熱蒸気管、給水管などで、外径 200~700mm、肉厚 20~110mm にわたるもので材質としては炭素鋼から Cr-Mo 鋼がある。

b) 製 鋼

これらの大径管にはかなり大きな鋼塊を必要とし、大径鍛造品と類似の性格のものであるから、鋼塊の製造に当っては白点や、ゴーストの防止、気泡の減少が必要であり、それとともに高温強度を保証するための結晶粒の調整が必要である (詳細は「鉄と鋼」 Vol. 44 No. 9, p. 1081 「高温高圧用蒸気管の品質と製造について」参照)

c) 製 管

大径厚肉管であるから圧延方式によつて製管することは困難で鋼塊からエルハルト式の水圧プレスにより穿孔押抜をおこなうか、または鍛造によつて丸鋼を製作し、これをボーリングして製造するかの方式を採用している。エルハルト方式で穿孔する時の鋼塊のメタルフローは複雑であるので、これを調査するため多くの実験を行なった。その 1 例は図 12 のとおりで、せん孔前の鋼塊で材料欠陥の発生し易い上部や下部が、穿孔後どこに移動したかを示したものである。すなわち鋼塊下部の欠陥は底の方へ集まる傾向にあるが、鋼塊上部の欠陥は管の内面に全面的に拡がること判る。これにより、鋼塊の切捨の適性化が期せられる。また図 13 は穿孔後の各部の鍛造比で、この鍛造比に、さらに押抜加工の鍛造比を

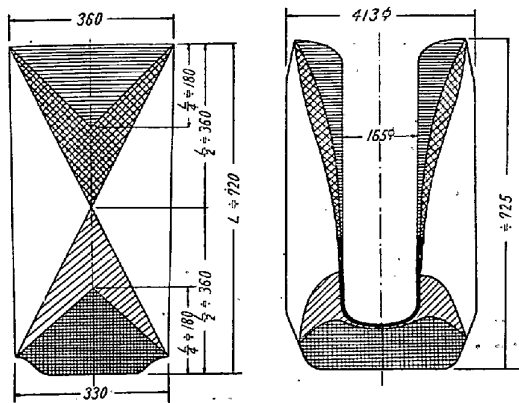


図12 実際の1/2大の鋼塊による穿孔加工（エルハルト法）の際のTopおよびBottom側材料の移動

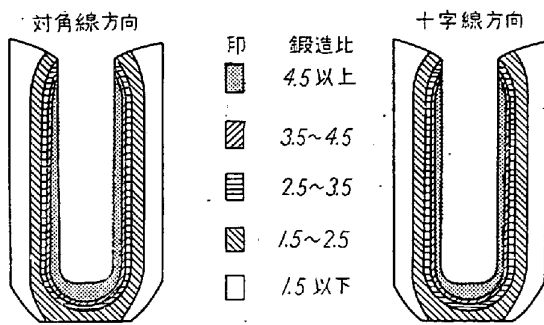


図13 エルハルト法穿孔における鍛造比

加えると、最終製品の鍛造比が得られる。

d) 検査法

大径厚肉管の検査法としては両端の扁平試験，マクロ試験，顕微鏡組織試験，引張試験の外に超音波試験を行ない，品質の確保を計った。

IV. 結 言

以上過去数年間多量の発電用ボイラ管を，しかも，つぎつぎと寸法的にも材質的にも高度化して行く要望に即応して研究，試作，製造を繰り返して来たことを総括して略述した次第であるが，火力発電の進歩に引きづられながらも，とにもかくにもその要望に応じ得たことは幸いであつたと考える。

本文の記述はきわめて簡単であり，技術的データも断片的で説明不十分ではあるが，高温高圧用鋼管のような特定の製品を製造するメーカーとしての在り方の一つの例を示した積りである。会員各位の御批判，御叱正を期待する次第である。（昭和34年6月寄稿）

(845ページより続く)

トラックタイムに関する研究 (第I報)

加藤 健, 他...2331~2345

厚鋼板の超音波探傷法について. 大竹 正, 他...2346
2360

圧延設備の最近のすう勢について. 谷 章一...2361~
2384

住友金属 11 (1959) 2

小倉, 焼結工場改造前後の調査結果

(焼結条件, 特に焼結層を通過する風量について)

実松竹二, 他...88~97

高温高圧ボイラ用 9Cr-1 Mo (HCM 9) 鋼管につ
いて. 大森仁平, 他...98~109

中炭素鋼の Warm-Working について. 小野通夫...
123~131

神戸製鋼 9 (1959) 3

鑄鉄のアーク溶接に関する二, 三の考察. 三吉正和...

179~185

電気製鋼 30 (1959) 3

押湯量の節減および形状について (押湯保温剤 Feedex について (その2)). 酒井条三郎, 他...239~
247

高アルミナ質炉蓋煉瓦の特性と製鋼条件との関連性につ
いて. (高アルミナ質電気炉炉蓋煉瓦の研究-I)
錦織清治, 他...256~270

耐火材料 81

混鉄炉用耐火物について. 古海宏一, 他...1~9

新三菱重工技報 1 (1959) 2

原子炉用容器のステンレス鋼肉盛り溶接に関する研究
氏家 昭, 他...60~68

工具鋼のサブゼロ処理に関する研究. 薄田 寛...81~

86