

Fig. 4. Creep rupture curves of anneal 2<sup>1</sup>/<sub>4</sub>Cr-1Mo forge steel.

最大荷重 1500kg 積桿比 1 : 10  
 マルチプル・タイプ 3本吊×4列 4台  
 最大荷重 1500kg 積桿比 1 : 10

を使用した。

III. 実験結果

Fig. 1 は、2<sup>1</sup>/<sub>4</sub>Cr-1Mo 鑄造材を、焼準・焼戻した試験片の 500°C、550°C、575°C、600°C および 625°C におけるクリープ・ラプチャー試験結果を示す。

Fig. 2 は、同じく鑄造材で、焼鈍した試験片の 575°C および 600°C におけるクリープ破断結果である。

Fig. 3 および Fig. 4 は、2<sup>1</sup>/<sub>4</sub>Cr-1Mo 鍛造鋼のクリープ破断線図であり、前者が焼準・焼戻材であり、他が焼鈍材である。

Fig. 1 および Fig. 2 について、鑄造材の溶解によるバラツキは1,000hr のクリープ・ラプチャー強度で最大約 4kg/mm<sup>2</sup> 位である。このバラツキは大きく、その原因は色々考えられるが、そのうち例えば化学成分は、C( $\bar{x}$ =0.16, R=0.07), Cr( $\bar{x}$ =2.51, R=1.04), Mo( $\bar{x}$ =1.00, R=0.18) である。

Fig. 1, Fig. 2, Fig. 3, Fig. 4 について、焼準・焼戻材と焼鈍材のクリープ・ラプチャー強度の比較を行なうと、約 1,000hr までは 575°C および 600°C とも、焼準・焼戻材が高強度を示すようであるが、1,000hr 以上の長時間になると、焼準・焼戻材の強度の低下が大きくなる傾向を示し、すでに、焼鈍材よりも強度が低下したのがある。鍛造材で試験温度が 600°C のものは、上記の傾向を顕著に示しており、焼鈍の方が、強度の高くなる時間は、3,000~4,000hr 位の範囲にある。

また伸びは、鑄造材の焼鈍では 6~12% に比し、他は 3~4% 低い。鍛造材でも焼鈍が 20~26% に比べ、焼準・焼戻材は 5~7% 程度低い結果を示している。

Fig. 1, Fig. 2, Fig. 3 および Fig. 4 より、鑄造材と鍛造材を比較すると、焼準・焼戻材の 575°C のテストでは、現在まではほぼ同強度を示し、600°C では短時間側では鍛造材が高強度を示しているが、長時間側においては逆の傾向にある。焼鈍材では、575°C および 600°C ともに鑄造材がやや高強度である。

IV. 結 言

5,000~10,000hr までの結果をまとめると、下記のごとくである。

- (1) 1,000hr におけるクリープ・ラプチャー強度のヒート間のバラツキは、最大約 4kg/mm<sup>2</sup> である。
- (2) 鑄造材、鍛造材ともに、短時間では焼準・焼戻

材が高い強度を示すが、長時間のクリープ破断強度は、焼準・焼戻材に比べ、焼鈍材が高いように思う。

(3) 伸びは、焼準・焼戻材より焼鈍材が大きい。

(4) 鑄造材と鍛造材を比較すると、現在までのところ同程度か、やや鑄造材が高い強度である。しかし伸びに関しては、鑄造材が 2~10% であるに対し、鍛造材は 12~26% で鍛造材が 10% 程度大きい。

669.152671782-194; 669.14010.85-462  
 620.172.254; 620.17872

(147) Cr-Si-Al 耐熱鋼鋼管の製造とその諸性質

住友金属工業、鋼管製造所

田原 巖・高井 重治・川野 和男

PP1970~1973

○藤原 冽

Production Cr-Si-Al Heat Resisting Steel Tubes and Their Properites.

Iwao TAHARA, Shigeji TAKAI, Kazuo KAWANO and Kiyoshi FUJIWARA

I. 緒 言

従来、フェライト系耐熱鋼管材として ASTM TP 410~446 などの高 Cr 鋼が多く用いられている。欧州ではこれらの Cr 鋼に Si および Al を加えた 13~24 Cr-Si-Al 系が開発されており、1200°C までの使用条件において優れた性質を示すものといわれている。わが国では、これらの高 Cr-Si-Al 系耐熱鋼管の使用実績はほとんどないようであるが、最近レキペレーター用熱交換管のような高度の耐酸化性あるいは耐 SO<sub>2</sub> 性を有する鋼管の必要性の増大により、これらの高 Cr-Si-Al 系鋼管が着目されて来た。このような状況に対応して著者らは高 Cr-Si-Al 鋼管を製造し、その諸性質を調査したので報告する。

II. 実験室的検討結果

試作に先立つて次のような実験室的検討を行なった。なお Cr-Si-Al 鋼の代表的化学成分を Table 1 に示す。

1. 鑄造組織の改善

熱間加工の際鋼塊の鑄造組織がかなり問題になるので主として B 鋼種について、50kg 高周波炉溶解鋼塊について鑄造組織を調査した。この際 R.E や Nb を添加して改善を試み、同時に同一 Cr 含有量の Tp 430 と比較した。その代表例を Photo. 1 に示す。高 Cr-Si-

Table 1. Chemical composition of Cr-Si-Al Steels

Steel No.	C%	Si%	Mn%	Ni%	Cr%	Al%
A	0.07	1.00	0.80	0.10	13.00	1.00
B	0.07	1.00	0.80	0.10	18.00	1.00
C	0.07	1.30	0.80	0.10	25.00	1.30

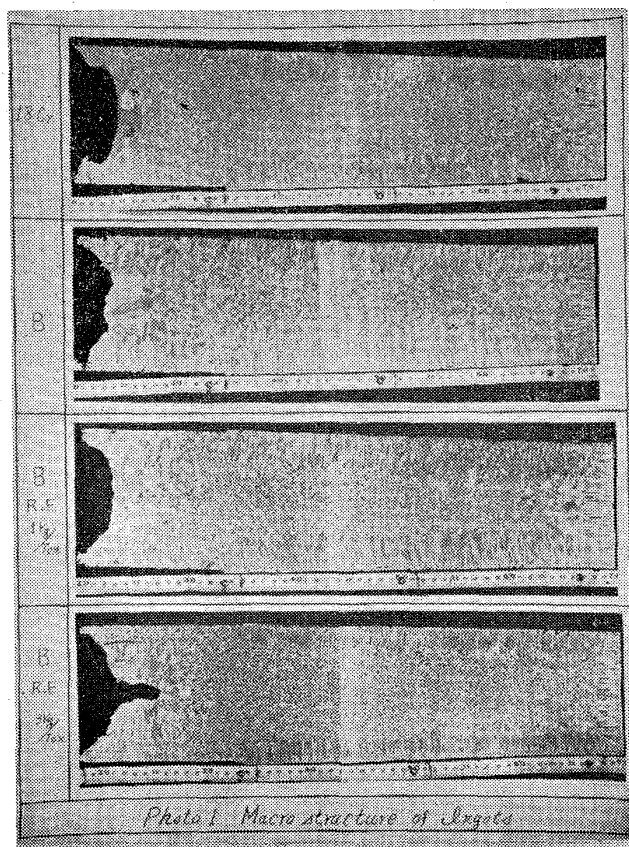


Photo 1. Macro structure of ingots.

Al 鋼は柱状晶，自由晶ともに非常に粗粒である。R. E を 3kg/t 添加すると柱状晶が短かく，かつ微細になり，自由晶の微細化も著しく，たい 18Cr 鋼と同等になる。Nb の影響もほぼ R. E と同様である。

#### 2. Ni の影響

溶製に当って使用スクラップあるいは炉床などから諸元素の混入を生じることはある程度避けられないが，製管性あるいは成品の性質に最も大きく影響すると思われる Ni について調査を進めた。製管性については約 1% まではほとんど影響ないがさらに多くなるとやや管表面状態を劣化させるようである。成品性質について調査した範囲では大きな影響は認められないが Ni の増加とともに若干カタサを増大させる傾向がある。なお Ni の影響については 2, 3 の問題について現在検討を進めている。

#### 3 熱処理条件

熱間加工と冷間加工後の熱処理について検討した。いずれも通常の熱処理温度では完全フェライト鋼であるため大きな変化はないが，軟化温度としてはほぼ 800°C が適当と判断された。

#### 4. 遷移温度の検討

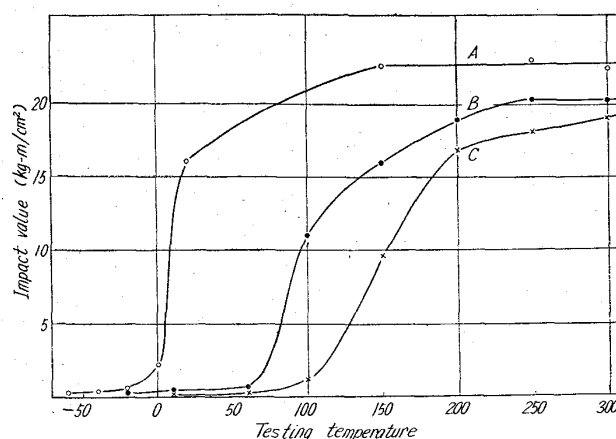


Fig. 1. Impact properties of Cr-Si-Al steels

これらの高 Cr-Si-Al 鋼はいずれも常温においては非常に脆く常温加工は困難であることは周知のところである。

常温加工における問題点解決の一環として衝撃試験による遷移温度を調査した。

鍛造角棒を 800°C × 1hr AC 後，2mmU ノッチシャルピー試験片を作成し，種々の温度で衝撃試験した結果を Fig. 1 に示す。A 鋼種では 20°C までは高い衝撃値を持つが 0°C 以下では極めて低下する。B 鋼種では 60°C 以下，C 鋼種では 100°C 以下になると極めて脆い。一般に他の Cr 系ステンレス鋼と同様に Cr 含有量が多くなるにつれて脆くなる。また同一 Cr 含有量の Cr 系ステンレスよりかなり脆い。

### III. 製造鋼管の性質

#### 1. 製管

##### (1) 熱間加工

1 t 高周波炉で 500kg 鋼塊をつくり，鍛造して 155mm  $\phi$  丸鋼とした後，機械加工により押出製管用ピレットを作成した。このピレットを用い Ugine-Séjournet 方式で 45mm  $\phi$  × 3.5mm t 鋼管を製管した。ピレット加熱は低周波誘導炉で行ない押出温度は TP 430 や 446 と同様の 1050°C ~ 1150°C で行なつた。管のできばえはほぼこれらと同等であつた。

##### (2) 冷間加工

上記の鋼管を用いて冷間加工を行ない，30mm  $\phi$  × 2.1mm t，25.4mm  $\phi$  × 1.7mm t の鋼管を製造した。A 鋼種は冷間圧延および冷間抽伸が可能である。Cr 含有量の多い B，C 鋼種についても加工条件に特別の配慮をばらうことにより冷間加工が可能となつた。冷間加工後の管のできばえは従来の高 Cr 鋼とまったく同等であつた。

#### 2. 鋼管の性質

熱間仕上管および冷間仕上管の機械的性質を Table 2 に示す。熱間仕上管では A，B 鋼種はほぼ同じ強度を持ち，ヘン平性質が良好であるが，C 鋼種はこれらよりかなり強度が高く，ヘン平性質が非常に悪い。冷間仕上管ではすべて強度が高くなつている。しかし，延性の低下は認められない。C 鋼種のヘン平性質も冷間加工により非常に改善される。熱間仕上冷間仕上管ともに A，B，C 鋼種それぞれ ASTM TP 410，430，446 を十分満

Table 2. Mechanical properties of produced tubes

	steel No	T. S (kg/mm <sup>2</sup> )	T. P 0.2% offset (kg/mm <sup>2</sup> )	Elongation %	Hardness HRB. *Hv	Flattening properties ratio of out side diameter
hot finished tubes	A	48.3	31.3	32	78.3	0.25
	B	47.5	30.8	39	80.5	0.20
	C	54.6	37.4	31	88.3	0.92
cold finished tubes	A	57.0	38.6	34	191*	0.24
	B	53.2	36.7	36	182*	0.26
	C	59.5	40.4	32	202*	0.53
ASTM	TP 410	42.0	21.0	20	≤95 (≤207)*	
"	TP 430	42.0	21.0	20	≤90 (≤190)*	
"	TP 446	49.0	28.0	18	≤95 (≤207)*	

足する.

IV. 高 温 特 性

1. 高温引張性質

18mm φ 鍛造丸棒より GL=35mm, 直径 8 mm φ の引張試験片を作成し, アムスラー引張試験機で 20°C ~ 1000°C の温度において引張試験を行なった. この際の歪速度は  $4.8 \times 10^{-5}$ /sec である. その結果を Fig. 2 に示す. 結果を要約すると次の通りである.

鋼種A: T. S は 400°C 位までは緩慢に低下するがそれ以上では急激に低下する. Y. P は 200°C までは急激に低下し, 200~500°C 間はあまり変化せず, 600°C か

ら急に低下する. 伸びや絞り は 500°C まではあまり変化せず, むしろ 200°C ~ 400°C では常温よりわずかに低下する傾向がある.

鋼種B: A鋼種よりわずかに強度が低い温度による変化はほとんど同じである.

鋼種C: A, B鋼種にくらべると 500°C 位までは 5 ~ 8 kg/mm<sup>2</sup> T. S が高い. しかし, 700°C 以上ではこれらと同等になる. Y. P は 100°C まではA鋼種やB鋼種よりかなり高いが, それ以上になるとほぼ同じになる. 一方伸びや絞りは 100°C までは低いとその後はほぼひとしくなる.

一般にA, B鋼種は TP 430 と同等であるが, C鋼種はかなり高くたい TP 446 と同じである. しかし, 700°C 以上の高温ではこれらはほとんど同じ強度を持つ.

2. 耐高温ガス腐食性

高温での耐酸化性と耐 SO<sub>2</sub> ガス性を調べるために次の試験を行なった.

試験片...鍛造丸棒より作成した 5mm φ × 40mm l  
 ガス組成...0.2% SO<sub>2</sub> + 5% O<sub>2</sub> + N<sub>2</sub>  
 ガス流量...400cc/min  
 温 度...800°C, 900°C, 1000°C, 1100°C  
 時 間... 8 時間

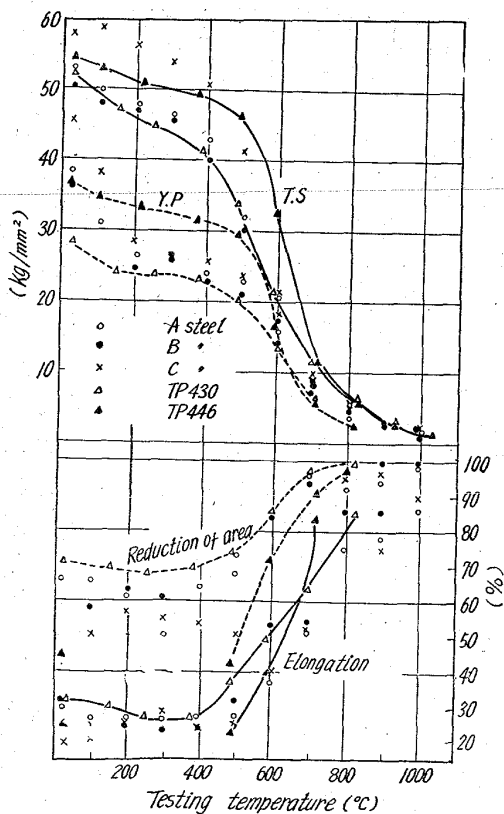


Fig. 2. Elevated temperature tensile properties of Cr-Si-Al steels.

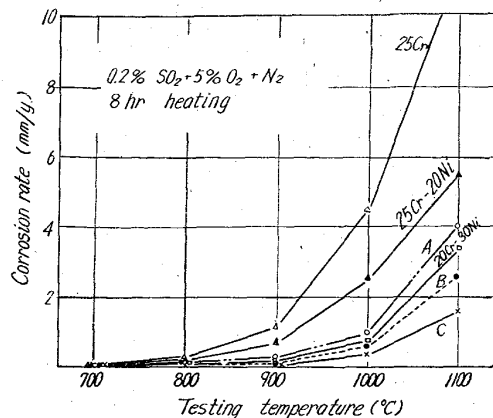


Fig. 3. Result of high temperature gas corrosion test of Cr-Si-Al steels.

他の耐熱鋼と比較するため、25Cr, 25Cr-20Ni, 20Cr-30Ni も同時に試験した。その結果を Fig. 3 に示す。25Cr や 25Cr-20Ni は 900°C 以上になると腐食速度が非常に大きくなるが Cr-Si-Al 鋼は非常に耐酸化性や耐 SO<sub>2</sub> 性がよく、A, B 鋼種は 1000°C まで、C 鋼種は 1100°C でも非常に良好である。これは Si や Al による緻密な酸化膜がこれら鋼の表面にできるからである。

### V. 溶 接 性

62mm  $\phi$  × 6mm t 鋼管で溶接性を調査した。溶接棒は 25Cr-20Ni, Inco weld A を用いて、予熱 250°C で V 型開先の突合せ溶接を実施した。溶接後、溶接部のマクロ組織、ミクロ組織、硬度、引張、曲げなどの諸試験を行なったが溶接性はかなり良好であった。

### VI. 結 言

高 Cr-Si-Al 鋼々管を製造し、その諸性質について種々の実験を行なった。その結果をまとめると次の通りである。

- 1) 本鋼の鑄造組織は粗いが R, E や Nb でかなり改善できる。
- 2) 熱間加工性だいたい Cr 系ステンレスと同等であり、十分製管可能である。
- 3) Cr 含有量が高くなると冷間加工は困難であるが、加工条件を適当に行なうことにより、より優秀な鋼管の製造が可能である。
- 4) 本鋼の高温強度はほぼ一般の Cr 系ステンレス鋼と同等であるが、耐高温ガス腐食性ははるかに優れている。
- 5) 適当な溶接条件を採用すれば溶接も可能である。

## (148) 12% Cr 鋼の振動減衰率におよぼす C および Cr の影響

日立製作所, 日立研究所 ○佐々木良一  
The Effect of C and Cr on the Damping-Capacity of 12% Cr Steel. No. 64310  
Ryoichi SASAKI

### I. 緒 言 PP1973~1975

今日、12% Cr 鋼がタービン翼材として広く使用されている。タービン翼材としては機械的強度に加えて、振動減衰率の大きい材料が望ましい。12% Cr 鋼は普通鋼材に比べると、著しく振動減衰率の大きい材料として知られているが<sup>1)</sup>、12% Cr 附近で振動減衰率におよぼす組成の影響は系統的に調べられていない。よつて C を 0.08~0.22%, Cr を 10.0~13.7% に変えた試料を溶製し、振動減衰率におよぼす C と Cr の影響を求めた。

### II. 実 験

実験に供した試料は高周波溶解炉で溶製したもので、その組成を Table 1 に示す。これを 20mm 角に鍛伸後、それぞれブリネル硬さ H<sub>B</sub> 200 および H<sub>B</sub> 240 に調質した。焼入温度は 990°C 一定とし、焼戻温度を変えて硬さを調質した。それぞれの焼戻温度は Table 1 に併記した。

振動減衰率の測定は、いわゆる Föppl 型<sup>2)</sup>の試験機で振り自由振動の減衰測定により、11.5 C/S の振動数で、室温~550°C において、対数減衰率  $\delta$  を求め、試片表面の剪断歪角  $\phi$  と  $\delta$  との関係として表わした。

### III. 実 験 結 果

#### (1) 一般的傾向

測定された  $\delta$ - $\phi$  曲線群の代表的なものを Fig. 1 に示した。 $\delta$  は振巾により、温度により著しく変化する。 $\delta$  の温度による変化が振巾によつて異なり、振巾の小さ

Table 1. Chemical composition and heat treatment

Steel	Chemical composition (%) **				Tempering temperature (°C)*	
	C	Cr	Si	Mn	for H <sub>B</sub> 200	for H <sub>B</sub> 240
54	0.08	10.29	0.31	0.37	650	555
97	0.08	11.39	0.28	0.30	700	580
98	0.09	12.50	0.26	0.30	700	595
99	0.08	12.94	0.19	0.28	700	590
100	0.08	13.62	0.21	0.34	710	640
101	0.11	11.29	0.19	0.33	715	640
109	0.13	11.22	0.15	0.29	720	640
113	0.15	11.31	0.23	0.30	720	645
117	0.19	11.13	0.24	0.30	745	660
55	0.16	10.03	0.28	0.31	710	635
56	0.21	10.00	0.25	0.30	715	655
107	0.14	12.59	0.13	0.29	730	620
118	0.19	12.09	0.29	0.29	760	660
116	0.12	11.90	0.25	0.31	710	645
104	0.11	13.55	0.17	0.30	700	—
114	0.17	12.08	0.25	0.31	750	—
115	0.16	12.76	0.23	0.29	750	—
119	0.22	13.11	0.21	0.28	760	—

\* 990°C × 30 min oil quenched and tempered for 1 hr at each temperature

\*\* P=0.015~0.021%, S=0.015~0.022%