

- 5) 荒城官長, 三菱日本重工技報 3 (1962), No. 1 p. 82.
- 6) Metals Handbook (1961), p. 626
- 7) Low Moor Alloy Steel Works Ltd. Automotive Engineer March, (1962), p. 93

669.1512426-194.561669/4/25

1620.172.251226

(153) Cr-Ni オーステナイト 鋳鋼のクリープ破断強度におよぼす組成の影響

日立製作所, 日立研究所

佐々木良一・○幡谷 文男

The Effect of Composition on the Creep Rupture Properties of Cr-Ni Austenitic Cast Steels.

Ryōichi SASAKI and Fumio HATAYA

I. 緒 言

Cr-Ni オーステナイト鋼は高温強度および耐酸化性がすぐれているため, 火力発電プラントや化学プラントなどの高温高圧の部分に用いられている。オーステナイト鋼の鍛造材については多くの研究がなされているが, 鋳造材に関する研究は少ない¹⁾²⁾。実際の製品では鋳造材も使われており, 鍛造材と同一組成でも異なった特性を示す。したがって鋳造材について高温強度特性を調べる必要があり, ここでは単純な Cr-Ni オーステナイト鋳鋼について, C, Ni および Cr 量を変えて, 組織およびクリープ破断強度におよぼす影響を調べたので報告する。

II. 実験方法

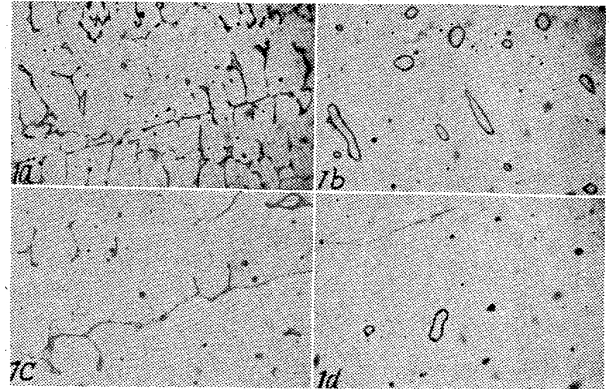
組成は C を 0.05%, 0.1% および 0.2% の 3 種に変え, それぞれの C 量について Ni を 6~23%, Cr を 14~27% の範囲で 2~3% おきに変えた。Si は 0.8%, Mn は 1% 目標で一定にした。このようにして全オーステナイト組織ないし約 15% のフェライトを含む組織を得るようにした。

溶解には 22kW 高周波炉を用い, アルゴン雰囲気中で溶解, 鋳造を行なった。鋳型は金型を用い, 鋼塊の寸法は底部が 41 mm φ, 頂部が 47~52 mm φ, 高さが 134~155mm で重量は 2.2kg である。鋳造時 1,550°C から 1000°C までの平均冷却速度は 780°C/min である。

鋼塊を縦に 2 分し, 片方は鋳造のまま, 残りは 1100°C × 5hr 加熱水冷の熱処理を行なつてから顕微鏡組織, フェライト量, 透磁率およびクリープ破断強度などを調べた。フェライト量は磁石を応用したフェライトインジケータにより測定した。また透磁率を測定し, 最大透磁率が 1.010 未満のものは全オーステナイト組織であるとした。クリープ破断試験は 6mm φ × 30mm G L 試片を用い 650°C で 100~2,000hr 破断を目標に行なつた。

III. 実験結果

Photo. 1 は顕微鏡組織の代表例を示す。すなわち 0.10C-20.6Cr-10.3Ni および 0.11C-19.7Cr-11.4Ni 鋼の鋳造のままおよび溶体化処理後の組織で, 0.10C-20.6Cr-10.3Ni の鋳造のままは 7.5~10% のデルタフ



- a) 0.01C-20.6Cr-10.3Ni, As cast, 7.5~10% ferrite
- b) 0.10C-20.6Cr-10.3Ni, Solution treated 1.5~2.5% ferrite
- c) 0.11C-19.7Cr-11.4Ni, As cast, 1.5% ferrite
- d) 0.11C-19.7Cr-11.4Ni, Solution treated, fully austenite

Photo. 1. Microstructures of specimens before testing. ×400 (1/2)

ェライトを含み, これを溶体化処理すればフェライトは 1.5~2.5% に減少し, 残留フェライトは球状化する。0.11C-19.7Cr-11.4Ni の鋳造のままは少量(1.5%以下)のフェライトを含み, 最大透磁率 1.111 であるが, これを溶体化処理すればフェライトは消失し, その最大透磁率は 1.008 となる。

Fig. 1 は 0.1C-Cr-Ni 系の鋳造のままの組成とフェライト量との関係を示す組織図である。Cr および Ni 量の低い領域にはマルテンサイトが認められる。これらを溶体化処理すれば成分元素の拡散均一化がおこり, フェライト量は減少し, 組織図においてオーステナイト領域が広がる。また 0.05C 系は 0.1C 系に比べオーステナイト領域がせまく, 0.2C 系は広がっている。

Fig. 2 は 0.1C-20Cr-10~15Ni 鋼および 0.2C-23Cr-8~16Ni 鋼の鋳造のままおよび溶体化処理材の 650°C におけるクリープ破断試験結果を示す。0.1C 系の鋳造のままの 1,000 時間強度は 6.0~8.7kg/mm² であり, これに対し溶体化処理材の値は 6.0~7.2kg/mm² とやや低くなっている。いずれも 0.11C-19.7Cr-11.4Ni 鋼が最大の値を示し, 0.10C-19.1Cr-14.7Ni が最も低い値を示す。0.2C 系の 1,000 時間強度は鋳造のままの試片が 7.6~12.0kg/mm², 溶体化処理したものは 7.1~10.3kg/mm² で 0.1C 系に比べ高い値を示す。鋳造のままと溶体化処理材とを比べれば 0.1C 系の場合と同じように, 前者の方が高い強度を示す。0.2C 系では 0.17C-23.6Cr-12.9Ni が最大の強度を示す。

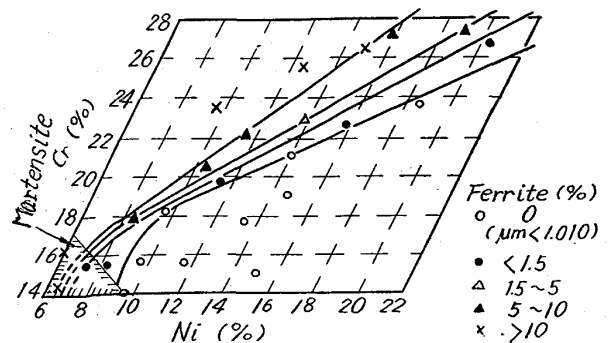


Fig. 1. Structural diagram of 0.1C-Cr-Ni as cast steels.

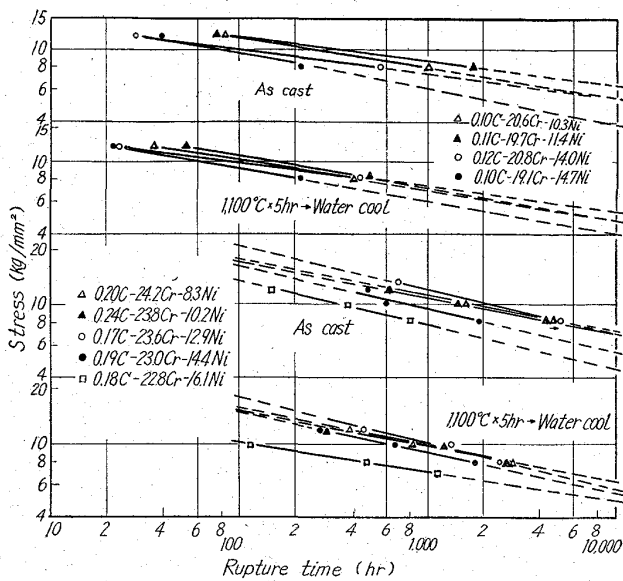


Fig. 2. Creep rupture curves of 0.1C-20Cr-Ni and 0.2C-23Cr-Ni at 650°C.

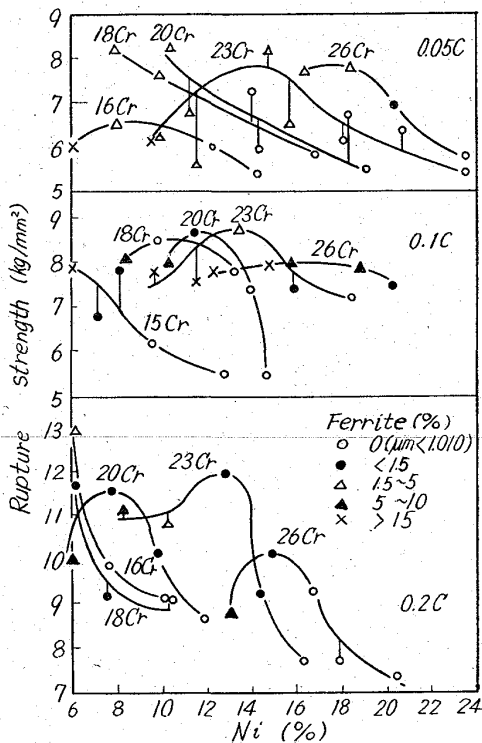


Fig. 3. Relationship between 1,000 hr rupture strength at 650°C and Ni content or ferrite amount.

クリープ破断伸びは Ni 量が少なくフェライトを含む試片の方が大きい。例えば 0.1C 系の鍛造のままのものについて、0.10C-20.6Cr-10.3Ni (7.5~10% フェライト) の破断伸びは 14.7~15.3%、0.11C-19.7Cr-11.4Ni (1.5% 以下フェライト) は 9.0~11.7%、0.12C-20.8Cr-14.0Ni および 0.10C-19.1Cr-14.7Ni (ともに全オーステナイト) は 2.0~7.3% である。

Fig. 3 は 0.05C 系、0.1C 系および 0.2C 系の鍛造のままの試片において、それぞれ Cr 量を一定にした場

合の Ni 量とフェライト量および 650°C, 1,000 時間クリープ破断強度との関係を示す。ただし Ni および Cr 量が低く、マルテンサイトが多量に存在しているものは省略した。0.05~0.2C 系いずれもある Ni 量で最大の強度を示す。例えば 23Cr の場合、0.05C 系では 14.9Ni, 0.1C 系では 13.5Ni, 0.2C 系では 12.9Ni が最大の強度を示し、これらのフェライト量はそれぞれ 1.5~2.5%、1.5~2.5% および 1.5% 以下 (最大透磁率 1.024) である。その他の Cr 量のものについて最大の強度を示すフェライト量を求めると 0.05C 系では 1.5~5%、0.1C 系では 1.5 以下 ~2.5%、0.2C 系では 1.5 以下 ~2.5% (大部分は 1.5% 以下で最大透磁率 1.024~1.144) である。すなわちいずれも少量のフェライトを含む組織のものが最大の強度を示し、これよりもフェライト量が増すにつれ、また Ni 量をふやしてフェライトをなくし、さらにオーステナイト組織が安定になるにつれ強度は減少する。最大の強度を示すフェライト量は C 量の増加につれて減少する。一般に強度は高 C の方が高い。

鋼のクリープ破断強度は組成によつて変わるが、いまある組成範囲において各元素と強度とは直線的関係にあると仮定し、強度は各元素の一次多項式で表わされるものとして実験式を求めた。この場合元素量他に Cr 当量 (Cr eq = Cr + 1.5Si) と Ni 当量 (Ni eq = Ni + 30C + 0.5Mn) との比も考慮に入れた。フェライトの有無により特性にかなり差があると考えられたので Fig. 3 からフェライト量が 1.5% 以上および 1.5% 以下とに分けて式を求めた。式の作成には電子計算機を用いた。675°C, 1,000hr 強度 σ_R は (1)~(4) 式で表わされる。Fig. 4 は溶体化処理材について (3) および (4) 式から求めた計算値と実験値との関係を図示したものである。実験値は計算値の $\pm 10\%$ 内にほぼ入っている。

$$\sigma_R = 14.94C - 1.28Si - 0.82Mn - 0.22Ni + 0.09Cr - 3.91(Cr \text{ eq}/Ni \text{ eq}) + 15.29 \text{ kg/mm}^2$$

(As Cast, 71.5% Ferrite)..... (1)

$$\sigma_R = 28.11 + 0.01Si + 1.58Mn + 0.13Ni - 0.17Cr + 5.60(Cr \text{ eq}/Ni \text{ eq}) - 2.20 \text{ kg/mm}^2$$

(As Cast, <math>< 1.5\%</math> Ferrite)..... (2)

$$\sigma_R = 8.91C - 1.32Si + 0.43Mn - 0.46Ni + 0.43Cr$$

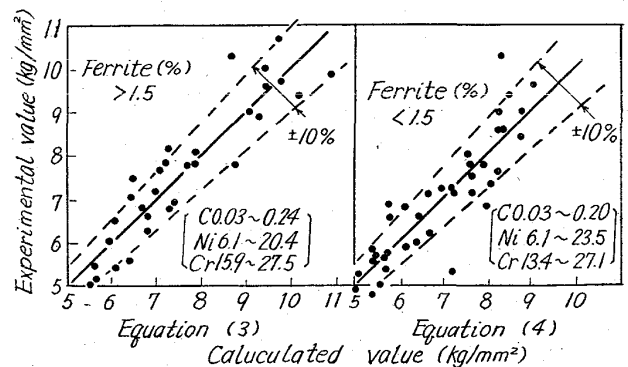


Fig. 4. Comparison between Calculated value and experimental value of 1,000 hr rupture strength at 650°C with solution treated specimens.

$$-4 \cdot 68(\text{Cr eq/Ni eq}) + 10 \cdot 28 \text{ kg/mm}^2$$

(Solution treated, >1.5% Ferrite) (3)

$$\sigma_R = 20 \cdot 34\text{C} + 0 \cdot 60\text{Si} + 0 \cdot 25\text{Mn} + 0 \cdot 06\text{Ni} - 0 \cdot 05\text{Cr}$$

$$+ 3 \cdot 35(\text{Cr eq/Ni eq}) + 0 \cdot 13 \text{ kg/mm}^2$$

(Solution treated, <1.5% Ferrite) (4)

IV. 考 察

フェライトは高温強度が低いのでオーステナイト+フェライト組織のものはフェライト量の多いほど強度が低下し²⁾, 本実験の結果も同じである。しかしフェライト量が約 1.5% で最大の強度を示し, オーステナイトが安定になるにつれ強度が低下した。これは Ni 量がふえるにつれ柱状晶の発達著しくなる傾向にあり, 試片は柱状晶と直角方向から採取しているため強度が低くなるものと思われる。鍛造材についてもこのような現象があるかどうかさらに検討を要する。

フェライトを含む試片は高温においてσ化がおこりやすく, 靱性が低下すると思われたが, クリープ破断伸びはフェライトを含む試片の方が大きい値を示した。これもフェライトを含むものは柱状晶が発達しにくく, 細粒のためと思われる。

V. 結 言

- 1) 650°C のクリープ破断強度は約 1.5% のフェライトを含む組織のものが最大で, 多量 (5%以上) のフェライトを含むものおよび安定なオーステナイト組織のものは低い。
- 2) 高Cのものは低Cのものに比べ, また鑄造のままのものは溶体化処理を行なったものに比べクリープ破断強度が大きい。
- 3) フェライトを含む試片の破断伸びは全オーステナイト組織の試片よりも大きい。
- 4) 組成とクリープ破断強度との関係を表わす実験式を作成した。

文 献

- 1) 西原他: 第3回高温強度シンポジウム資料, (昭和 35 年 9 月), p. 67~72
- 2) 岩元他: 鉄と鋼, 50 (1964), 4, p. 724~727
- 3) 西原他: 鉄と鋼, 45 (1959), 12, p. 1357~1362
- 4) 乙黒他: 鉄と鋼, 48 (1962), 6, p. 776~781

669.15, 24, 26-194.56; 669.14, 1, 25

620.17, 2, 25, 1, 226

(154) Cr-Ni オーステナイト鑄鋼のクリープ破断試験による組織の変化

日立製作所, 日立研究所 No. 64316
佐々木良一・○幡谷 文男

The Structure Change of Cr-Ni Austenitic Cast Steels by Creep Rupture Testing. 991987~1990
Ryoichi SASAKI and Fumio HATAYA

I. 緒 言

Cr-Ni オーステナイト鋼を加熱すれば組成によつてはσ相を生じ, 特にフェライトを含むものはσ化しやすく, これらに関しては多くの研究がある¹⁾²⁾. 前報においてオーステナイト鑄鋼のクリープ破断強度について報告したが, その試験後の組織の変化についても若干調べ

σ化の過程, マルテンサイト化など興味ある現象が認められたので報告する。

II. 実験方法

試料はクリープ破断試験を行なったものと同一のものである。全試片についてクリープ破断試験前後のフェライト量をフェライトインジケータにより測定した。これは磁石の吸引力を利用してフェライト量を測るものである。

一部高 Cr 鋼の試片についてはクリープ破断試験の他に無負荷の状態で 650°C に加熱し, 加熱時間による組織, 硬さおよび磁性の変化を調べた。低温における磁性は液体窒素を用いて冷却し弾動検流計法で -190°C ~ 室温で測定した。オーステナイト部とフェライト部との Cr および Ni の相対量の差を調べるには X線マイクロアナライザーを用いた。

III. 実験結果

Table 1 は 0.2C-Cr-Ni 系の鑄造のままの試片の 650°C におけるクリープ破断試験結果および試験前後におけるフェライト量を示す。0.2C-17Cr-Ni 系は試験前 1.5% 以下のフェライト量であつたが, 0.2C-16.8Cr-6.2Ni および 0.19C-17.5Cr-7.3Ni は試験後 7.5% 以上および 2.5~10% となり Ni の低い前者の方がフェライトの増加が著しい。Ni の多い 0.19C-17.4Cr-10.2Ni は試験の前後ともに 1.5% 以下で変化がない。一方 0.2C-27Cr-Ni 系では, 0.16C-27.4Cr-13.0Ni は試験前 7.5~10% のフェライトを含んでいたが, 試験後は 1.5% 以下に減少し, 0.22C-27.1Cr-14.8Ni は試験の前後とも 1.5% 以下である。

Photo. 1 はクリープ破断試験後にフェライト量の増減が認められた 0.20C-16.8Cr-6.2Ni および 0.16C-27.4Cr-13.0Ni の試験後の顕微鏡組織である。0.20C-16.8Cr-6.2Ni は試験前少量のフェライトが認められたにすぎないが, 650°C で 4,000hr 試験後の組織は多数

Table 1. The result of creep rupture test at 650°C

Specimen	Stress (kg/mm ²)	Rupt. time (hr)	Ferrite amount (%)	
			After test	Before test
0.20C-16.8Cr-6.2Ni	12	898	>15	<1.5
	10	1,664	>15	<1.5
	8	4,000	7.5~15	<1.5
0.19C-17.5Cr-7.3Ni	12	360	7.5~10	<1.5
	10	885	2.5~10	<1.5
	8	1,654	5~10	<1.5
0.19C-17.4Cr-10.2Ni	12	217	<1.5	<1.5
	10	543	<1.5	<1.5
	8	2,115	<1.5	<1.5
0.16C-27.4Cr-13.0Ni	12	146	<1.5	7.5~10
	10	346	<1.5	7.5~10
	8	1,844	<1.5	7.5~10
0.22C-27.1Cr-14.8Ni	12	492	<1.5	<1.5
	10	1,012	<1.5	<1.5
	8	2,457	<1.5	<1.5