

Table 1. Chemical composition of specimens. (in wt.%)

Mark	Type of steel	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	V	Cb	Co	B
T 5	H46 (A)	0.19	0.33	0.76	0.016	0.016	0.09	11.24	0.65	0.36	0.26	—	—
TV 5	H46 (V)	0.19	0.35	0.74	0.016	0.016	0.10	11.12	0.62	0.37	0.25	—	—
T 6	H46 mod. (A)	0.20	0.29	0.77	0.016	0.007	0.08	11.21	0.94	0.19	0.19	—	—
T 7	TAF (A)	0.20	0.22	0.73	0.014	0.014	0.09	11.50	0.90	0.18	0.16	—	0.012
T 8	TAF+Co (A)	0.19	0.36	0.72	0.019	0.017	0.10	11.04	0.91	0.19	0.19	1.01	0.0065
TV 8	TAF+Co (V)	0.18	0.55	0.67	0.015	0.015	0.10	11.04	0.85	0.20	0.21	1.01	0.008

(A) air melted, (V) vacuum melted.

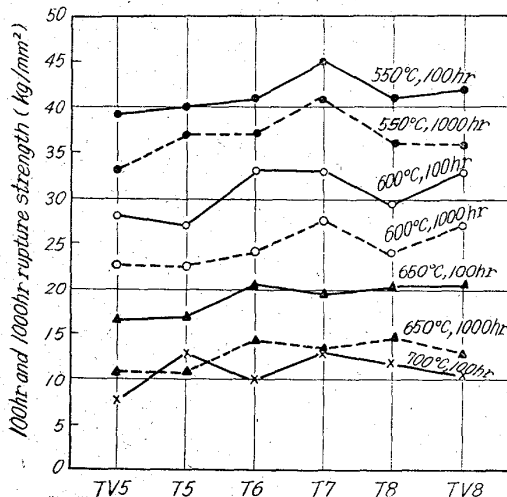


Fig. 5. 100 and 1000 hours rupture strength of 12%Cr-modified steels.

は 600°C 以上では強度を上げる。

## IV. 結 言

Jessop H46 (1961 年) H46 modify, TAF 鋼および TAF+Co 鋼に関して各種の実験を行なった結果を要約する。

(1) 非金属介在物は真空溶解することによつてかなり減少する。

(2) 熱間加工温度は 1100~1200°C が適する。

(3) 変態点は Ac 点が 850~900°C, Ar 点が 800~700°C 付近に存在し, 6 種の鋼において大きな差異は認められない。

(4) 焼入硬度は T7 を除き 1050~1100°C で最高硬度に達し, T5, TV5, T8, TV8 は Hv 500 位であり, T6, T7 は各々 Hv 560, 580 にも達する。

(5) 1000°C, 1150°C 焼入の後 200~750°C で 1~300 hr 焼戻して焼戻抵抗性を見ると, 525~550°C 付近で二次硬化が著しい。焼戻抵抗性は T7 が最も大きく, 次が T6 で, T8, T5 の順である。真空溶解すると Hv 300 以下の焼戻抵抗を増大する。

(6) 常温および熱間の機械的性質は T7, T6 が硬くて強いが, 延性靱性にやや乏しい。T5, T8 は延性靱性がやや高く, 特に真空溶解したものは延性靱性が改善されている。

(7) 1000 hr 程度のクリープ・ラプチャー強度は T7 が最も強く, T6, T8, T5 の順で強度が低い。Co の入った T8 を真空溶解すると 600°C 以下のクリープ・ラプチャー強度を上げるが, 650°C 以上ではかえつて強度

を下げる。

## 文 献

1) 大沢, 松岡, 山田: 鉄と鋼, 49 (1963) 3, p. 599~601

2) 大沢, 山田: 鉄と鋼, 49 (1963) 3, p. 603~605

(154) 12%Cr-Mo-V-Nb 耐熱鋼の性質  
におよぼす Co および Ni の影響

日本特殊鋼

工博 澤 繁樹・工博 西 義澈・○中島治男  
Effect of Co and Ni on the Properties  
of 12%Cr-Mo-V-Nb Heat Resisting  
Steels.

Dr. Shigeki SAWA, Dr. Yoshizumi NISHI  
and Haruo NAKAJIMA.

## I. 緒 言

フェライト系耐熱鋼として最も高温強度の高い, 12%Cr 系耐熱鋼<sup>1)</sup>については, 古くから多くの研究がなされ<sup>2)~5)</sup>, 現在ではかなりの多鋼種がスチームタービンやガスタービンの翼, ガスタービンローターおよびボルト材などに広く使用されている。しかし 12%Cr 系耐熱鋼では, 一般に高温強度を高めるため Mo, V および Nb を含有しているので,  $\delta$  フェライトが現われ, しばしば問題とされてきた。

筆者らはこの種耐熱鋼の代表的なものとして有名な, 12%Cr-Mo-V-Nb 鋼の H46 について,  $\delta$  フェライトの低減および常温および高温性質の改善について研究した。すなわち,  $\delta$  フェライトの発生を防止するには, N, C, Ni および Co の添加が有効である<sup>6)</sup>。しかし N の添加は長時間における高温クリープ破断強さを低下させる傾向があり<sup>7)</sup>, C 含有量は 12%Cr 系耐熱鋼においては, 低い方が良く, 合金元素量の 1/10 程度が最もクリープ強さを高めるといわれているので<sup>8)</sup>, H46 に対する Ni および Co の影響を調べた。特に Co は 12%Cr あるいは 12%Cr-Mo-V-Nb-W-B 耐熱鋼において, 高温クリープ破断強さを高める傾向のあることが報告されている<sup>9)~10)</sup>。

また一般に 12%Cr 系耐熱鋼では, 高温クリープ破断強さを高める目的で, 比較的高い焼入処理が推奨されているが, その場合には靱性特に衝撃値が低くなるので, 靱性が高いと同時に高温クリープ破断強さも高い鋼種に

Table 1. Chemical composition of specimens. (%)

Mark	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	V	Nb	Co	Ni
S	0.16	0.43	0.56	0.007	0.022	12.27	0.46	0.31	0.30	—	—
Co 3	0.16	0.47	0.61	0.006	0.021	12.33	0.46	0.34	0.28	0.30	—
Co 6	0.16	0.43	0.58	0.005	0.021	12.06	0.47	0.31	0.27	0.65	—
Co 15	0.16	0.46	0.58	0.005	0.020	12.22	0.47	0.38	0.27	1.55	—
Ni 1	0.16	0.42	0.59	0.005	0.022	12.22	0.47	0.29	0.28	—	1.02
Ni 2	0.16	0.43	0.59	0.006	0.022	12.42	0.46	0.28	0.27	—	2.04
Ni 4	0.15	0.42	0.57	0.007	0.015	12.10	0.45	0.33	0.26	—	4.09
Ni 6	0.15	0.65	0.56	0.006	0.014	11.94	0.52	0.33	0.25	—	5.91
CoNi	0.19	0.41	0.61	0.005	0.017	12.27	1.66	0.46	0.39	3.20	0.87

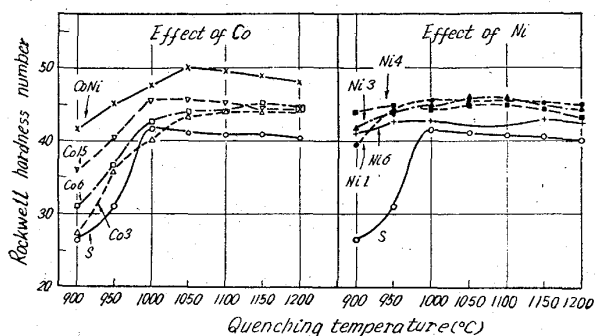


Fig. 1. Effect of austenitizing temperature on quenched hardness.

についても検討した。

### II. 供試材および実験方法

試料は 35 kVA 高周波電気炉で溶製した 4~8 kg 鋼塊を、 $\phi 15$  および  $\phi 16$  mm に鍛伸して、硬さ、衝撃および引張、クリーブ破断試験に供した。

供試材の化学成分を Table 1 に示す。試料 S は H46 の基本組成のもの (Ni は特別に添加せず) で、試料 Co 3~Co 15 はそれに対し、Co のみを 0.3~1.5%，試料 Ni 1~Ni 6 は Ni のみを 1~6%，それぞれ添加して、Co および Ni の単独添加の影響を、試料 CoNi は H46 の C, Mo, V および Nb を若干高めるとともに、Co 3% と Ni 0.9% を同時に添加して、Co および Ni の複合添加の影響を、それぞれ試験した。

実験方法は鍛伸後 750°C × 1 hr 炉冷焼鈍した試料について、1) 熱処理による硬さおよび  $\delta$  フェライト量の変化、2) 熱処理条件を変えた場合の常温および 600°C 短時間強さ、ならびに、3) 同上熱処理の場合のクリーブ破断強さを求めて、Co および Ni 添加の効果調べた。

### III. 実験結果

#### (1) 熱処理硬さ

1) 焼入硬さ  $\phi 15 \times 15$  mm の試料について、900~1200°C 30min 保熱油冷後測定した。焼入硬さの変化を Fig. 1 に示す。

試料 S の H46 は 1000°C の焼入によつて、最高の硬さを示し、それ以上の高温では次第に低下する。Co を添加するといずれも焼入硬さを増し、焼入温度が 1050°C 以下の場合には、Co の影響が認められるが、1100°C

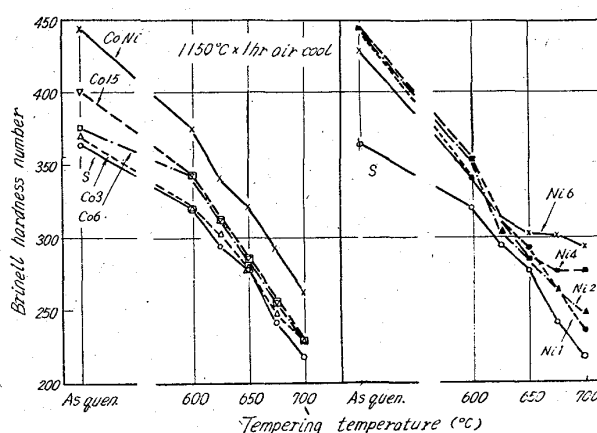


Fig. 2. Effect of tempering temperature on hardness after 1150°C air cool.

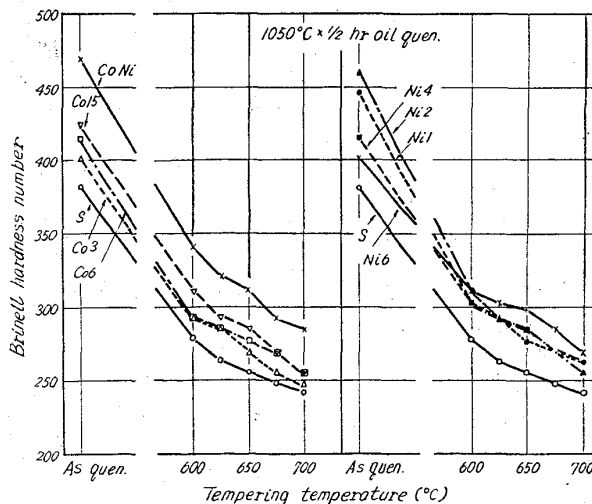


Fig. 3. Effect of tempering temperature on hardness after 1050°C oil quenched.

以上ではそれを示さない。Ni を 1~4% 添加したものは、950~1150°C の焼入によつて、同様の硬さ変化を示すが、Ni 6% のものは、950~1200°C において若干焼入硬さが低い。これは Ni 量が高いため変態点が低くなり、したがつて残留オーステナイトを生成するためである。

Co と Ni を同時添加した試料では、C 含有量の高い

Table 2. Amount of  $\delta$  ferrite in specimens. (%)

Mark	S	Co 3	Co 6	Co 15	Ni 1	Ni 2	Ni 4	Ni 6	CoNi
Condition									
1050°C×1/2 hr oil	6.42	3.93	2.1	0.186	0	0	0	0	0
1150°C×1 hr air	9.97	6.2	3.75	2.48	0	0	0	0	0

ことも原因していると考えられるが、H46 はもちろん、Co および Ni を単独添加したものよりも、焼入硬さが高い。また、これによつて 1050°C (油冷) 焼入が、これら鋼種のほぼ適当な焼入温度であることが知られる。

2) 焼戻硬さ H46 に推奨されている 1150°C 空冷焼入およびこれら鋼種の適正焼入と考えられる。1050°C 油冷材 ( $\phi 15 \times 50$ mm) についての、600~700°C 2 hr 焼戻後の硬さの変化を Fig. 2~3 に示す。

H46 に Co が添加されると、焼戻抵抗を増すが、1050°C 焼入の方が 1150°C 空冷の場合よりも、いちじるしく、かつ Co 添加の影響が明らかに認められる。Ni を単独添加した場合にも、1050°C 油冷の方がその傾向が大きい。Ni 1~4% の範囲ではあまり変化が認められない。Ni 6% のものは特に 1150°C 空冷材における、650~700°C 焼戻後の硬さの低下が少ないが、これは一部変態が起つているものと考えられる。Co と Ni を同時に添加した場合には、焼戻硬さの高いためであつて、いちじるしく軟化温度が高く、ブリネル硬さ約 300 は、1050°C 油冷および 1150°C 空冷焼入材ともに 660~670°C の焼戻しによつて得られる。これらの結果から、Co, Ni の単独添加に同時添加は、焼戻軟化温度を高めて、高温長時間使用に有効であることが知られる。しかし Ni 4~6% の多量添加は、変態点を低下させるので、好ましくない。

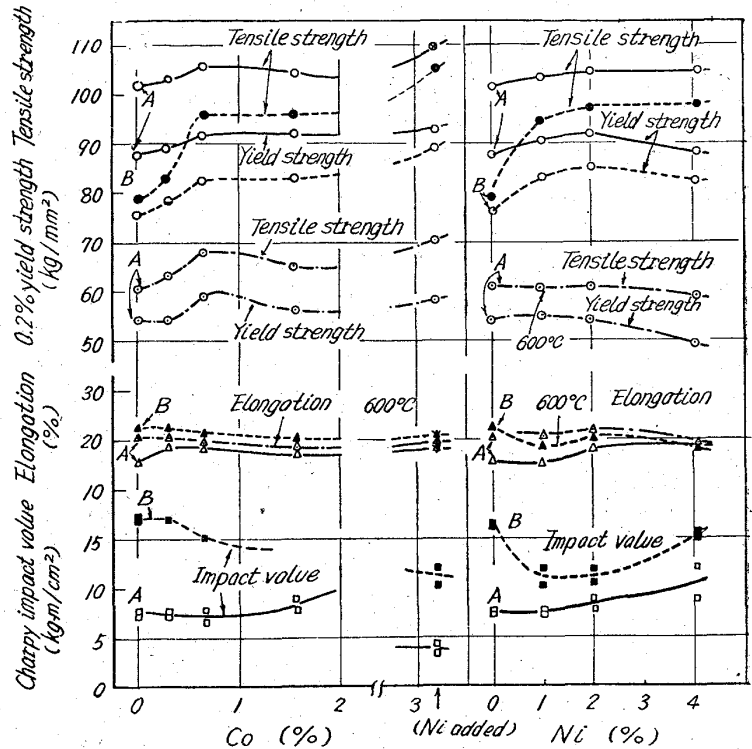
### (2) $\delta$ フェライト量

試料 S の H46 では、焼入温度 950~1200°C において、いずれも  $\delta$  フェライトが認められ、焼入温度が高い場合ほどその量が多い。しかし Co および Ni の添加によつて、次第にその量が少なくなる。Table 2 は 1050°C 油冷および 1150°C 空冷焼入時の  $\delta$  フェライト量を示したものであり、Co および Ni を複合添加した試料では、 $\delta$  フェライトは現れず、好ましい合金組成を示している。

### (3) 常温および高温短時間性質

H46 に推奨されている熱処理、すなわち 1150°C 空冷後常温引張り強さが約 102 kg/mm<sup>2</sup> になるような焼戻処理 (ブリネル硬さ 285~302) を、試料の組成によつて 620~670°C×2 hr 空冷に変化した場合 (熱処理 A)、および 1050°C×1/2 hr 油冷焼入後 650°C×2 hr 空冷焼戻の処理をすべての試料に施した場合 (同 B) のそれぞれについての、常温引張および衝撃試験ならびに 600°C 引張試験の結果を Fig. 4 に示す。

1150°C 空冷焼入の場合には、Co の添加によつて、常温および 600°C の引張り強さおよび降伏点が增加する



Heat treatment { A 1150°C×1 hr air, 620~670°C×2 hr air  
B 1050°C×1/2 hr oil, 650°C×2 hr air

Fig. 4. Effect of Co and Ni on the tensile properties at room and 600°C.

が、伸びおよび衝撃値はあまり変化しない。Ni 添加の場合には、1~2% までは常温強さが若干増加し、600°C のそれはほとんど変わらないが、添加量を 4% に高めると、600°C の強さはかえつて低下する。また Ni 2% 以上になると、常温の伸びおよび衝撃値は増加するが、600°C における伸びはあまり変わらない。Co と Ni の複合添加の場合には、強さ特に 600°C におけるそれを高める働きがあり、伸びはあまり変化しないが衝撃値は低くなる。

1050°C×1/2 油冷、650°C×2 hr 空冷の熱処理では、Co および Ni の単独添加によつて、強さを増すが、それぞれ 0.6 および 2% 以上に高めても、それ以上の効果はない。衝撃値は 1150°C 空冷焼入のものよりも高くなる。Co と Ni の複合添加材はこの熱処理でも、H46 の標準強さのものと同等の値を示し、衝撃値は改善される。

これによつて Ni 4% 以上の添加は好ましくなく、Co および Ni の複合添加が 1050°C 焼入によつて、強さおよび衝撃値の点でも有効なことが知られる。

### (4) 高温クリーブ破断強さ

短時間引張り試験を行つた A および B の熱処理材に

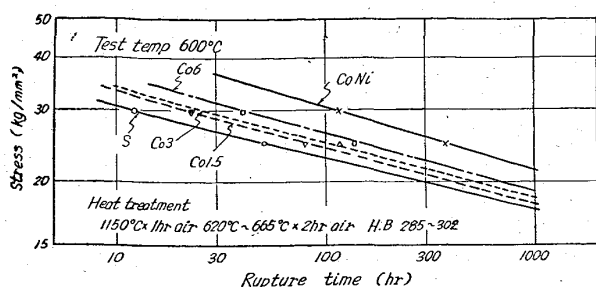


Fig. 5. Rupture curve of 12%Cr-Mo-V-Nb heat-resisting steels.

ついて (試験片は平行部の径 6.0mm, 標点距離 30 mm), 600°C におけるクリープ破断強さを測定した。その一例を Fig. 5 に示す。

A熱処理材では, H46 に対して Co を単独添加すると, 0.3~0.6% までは, クリープ破断強さの増加を示すが, 1.5% になるとその効果は少なくなり, H46 よりは若干強い程度となる。Ni の単独添加は 1% まではあまり変化しないが, それ以上の含有によつて, かえつて低下する。Co および Ni を同時添加すると, クリープ破断強さはかなり向上する。

B熱処理材でも, 同様の添加元素の影響を示すが, Co および Ni のもの添加では, A熱処理よりもクリープ破断強さは低い。しかし試料 CoNi は A熱処理と同等の値を示し, Co および Ni の複合添加は, 低い焼入処理によつて衝撃値を高めることができ, しかも高温クリープ破断強さは低下しない。

#### IV. 結 言

12%Cr-Mo-V-Nb 耐熱鋼の代表的な H46 の性質におよぼす, Co および Ni の影響を試験して, つぎの結果が得られた。

1) H46 標準組成のものは,  $\delta$ フェライトが多量に発生するが, Co 1.5% までの単独添加によつて, それを低減することができ, しかも 0.6% までは高温クリープ破断強さを高めることができる。

2) Ni 1% 以上の単独添加によつて,  $\delta$ フェライトは消失するが, 高温クリープ破断強さは低下する。

3) H46 に Co および Ni を複合添加することによつて,  $\delta$ フェライトは完全に消失し, 焼入および焼戻硬さ, 短時間強さおよび高温クリープ破断強さが, いちじるしく増加する。また衝撃値を高めるための低温焼入を行なつても, 高温クリープ破断強さの高い特長を示し, 高い衝撃値およびクリープ破断強さの要求される用途にも十分適することが分つた。

#### 文 献

- 1) 藤田, 笹倉, 岳野: 鉄と鋼, 49 (1963) 3, p. 597~599
- 2) E.W. COLBECK, J.R. RAIT: High Temperature Steels and Alloys for Gas Turbine, Special report No.43 (1952), The Iron and Steel Institute, p. 107~124
- 3) 芥川, 藤田: 耐熱材料研究委員会報告集, Vol. 1, No. 1, p. 17~43
- 4) P. SHAHINIAN, J. R. LANE: Iron Age, 178 (1956) 17, Oct. 25, p. 108~112.

- 5) E. L. BEDELL, T. T. RICK, D. J. BEERNTSEN: Metal progress, 84 (1963), p. 96~99
- 6) K. J. IRVINE, D. J. CROWE, F. B. PICHKELNG: J. Iron & Steel. Inst. (U. K.), 195 (1960), p. 386~405
- 7) 藤田: 鉄と鋼, 49 (1963) 9, p. 1563~1565
- 8) L. HABRAKEN, D. COUTSOURADIS: Cobalt, (1959) 2, Mar., p. 11~22
- 9) 大沢, 山田: 鉄と鋼, 49 (1963) 3, p. 603~605
- 10) 藤田: 鉄と鋼, 49 (1963) 9, p. 1561~1563

### (155) 25Cr 鋼の靱性改善に関する研究 (25Cr 鋼の研究—Ⅲ)

神戸製鋼所, 中央研究所

鈴木 章・○金田次雄・木下修司・新名英司

#### Study on the Improvement of Ductility in 25Cr Ferritic Steel.

(Study on 25Cr ferritic steel—Ⅲ)

Akira SUZUKI, Tsugio KANEDA, Shushi KINOSHITA and Eiji NIINA.

#### I. 緒 言

フェライト系 25Cr ステンレス鋼は高温耐酸化性, 耐食性がすぐれているところから各種化学工業用熱交換器, 炉の各種部品などに広く使用されているが, この 25Cr 鋼は約 100°C 以下における延性, 靱性が劣つているため冷間加工性に乏しく, 製造上あるいは用途にも大きな制約を受けている。当所においてはこれまで 25Cr 鋼の常温衝撃抵抗の改善に関し一連の研究をおこない報告してきたが<sup>2,3)</sup>, 25Cr 鋼中の C+N 量の低減, あるいは Ti, B の添加により衝撃遷移温度を低温側に移行せしむることを確認した。これらの研究の中でも C+N をかなり減少させたコンセルアーク溶解材がもつともすぐれた結果を示した。

しかしながらコンセルアーク溶解では C 量を極端に低下させうるけれども, N 量はある限度以下に低下せしめることは困難である。したがつて真空高周波誘導溶解の適用により N 量を低下させれば衝撃遷移温度はさらに低温に移行するものと考えられる<sup>4)~6)</sup>。本報では前回に引き続き 25Cr 鋼の靱性改善を目的として真空高周波溶解材と, 大気溶解で可能な範囲まで C, N を低くした状態で Ti, または B を添加した 25Cr 鋼について, 衝撃特性ならびに高 Cr 鋼の本質的な脆性の原因を検討した。

#### II. 供 試 材

供試材は Table 1 に示す 8 鋼種で, V は真空高周波溶解材, T1~T4, B1~B3 は Ti ならびに B の添加量をそれぞれ異にした大気溶解材である。なお比較のため ASTM A268-60, TP446 の化学成分を併記する。V は 100 kVA 真空高周波誘導炉により真空溶解 (真空度  $1 \times 10^{-2} \sim 4 \times 10^{-2}$  mmHg) をおこない 90 kg 鋼塊を溶製した。T, B は 100 kVA 塩基性高周波炉で大気溶解したが, C, N 量を極力低くするため Fe は電解 Fe, Cr は電解 Cr を使用し, Ti, B の添加はそれぞれ Fe-