

- |  |   |
|--|---|
| 2) H. J. French: Tr. ASST. 17 (1930) 848     | 7) J. P. Gill, G. A. Roberts, H. G. Johnstin, Burns George: Tool Steel (1946) |
| 3) R. P. Seeling: Iron Age (1949) Sept. 72   | 8) M. Cohen: Tr. ASM. 41 (1949) 35  |
| 4) H. Scott & T. H. Gray: Tr. ASM. 29 (1941) | 9) 三橋鉄太郎, 上野学: 鉄と鋼 (1953) 722   |
| 5) K. Rose: Material & Method (1950) Nov. 66 | 10) 足立彰, 山田新太郎: 鉄と鋼 (1954) 116  |
| 6) L. H. Seabright: Iron Age 68 (1951) 101   | 11) 安田洋一, 村治敏明: 鉄と鋼 (1954) 1066   |

## ガスタービン用 Ni-Cr-Co 系 (20-15-15%) 耐熱鋼の 諸性質におよぼす Nb, V, Ti および N の影響\*

小柴定雄\*\*・九重常男\*\*\*

### THE EFFECTS OF Nb, V, Ti AND N ON THE PROPERTIES OF Ni-Cr-Co (20-15-15%) SERIES HEAT-RESISTING STEEL FOR GAS TURBINES

Sadao Koshiba, Dr. Eng., Tsuneo Kuno

In the previous report, ("Hitachi Hyoron" No. 11, 1955) the authors described the effects of Nb, V, Ti and N on the properties of Ni-Cr (20-15%) series heat-resisting steel for gas turbines. In this report, the authors examined the effects of Nb, V, Ti and N on the forgeability, solution-treatment, hardness, aging hardness, microstructure, mechanical properties at high temperature, oxidation resistance and creep limits of Ni-Cr-Co (20-15-15%) series heat-resisting steel for gas turbines.

The results obtained were summarized as follows:

- 1) In respect to forgeability, Nb was superior, while the specimen A (which contained no special element) Ti and V were comparatively good next to Nb, and then N had worse effect on it.
- 2) When the solution temperature was 1200°C, the specimen "A" showed highest aging hardness. Next to the specimen "A", those with N, V, Ti and Nb were good in the term.
- 3) N conferred the best property in the tensile strength at high temperature, however when the temperature rose above 700°C, the differences between the properties of steels with different elements became very small.
- 4) In respect to oxidation resistance, Nb was most effective and V had worse effect on it.
- 5) As for the creep limit, the specimen "A" was superior, and then, next to "A", specimens containing Ti, N, V and Nb were good in the term.

#### I. 緒 言

日本鉄鋼協会第 49 回講演大会にて Ni-Cr 系耐熱鋼の諸性質におよぼす Nb, V, Ti および N の影響について報告した分は「日立評論」金属特集号 (別冊 No. 11, 1955 昭和 30 年 9 月発行) に掲載したが, 今回は Co を含む Ni-Cr-Co 系 (20-15-15%) 耐熱鋼におよぼす Nb, V, Ti および N の影響について実験を行った。

耐熱鋼に高温強度を付与するためには Co が是非必要である。使用温度 800°C 以上の高温においては Co 45% を含む S. 816 等が広く用いられている。かように多

量の Co を用いることは高温強度を増大せしめる反面、鍛造性が著しく悪くなり、Co 50% 以上となれば鍛造は殆んど不可能となる。また資源の不足により極めて高価となり、多量の使用は避けなければならない。かような意味において現在 Co 基耐熱鋼としては N-155 (Ni, Cr, Co 各 20%) 系統が広く使用されている。そこで筆者等は更に Co を節約することを目的として、前述の特殊元素の影響について実験を行った。

\* 昭和 30 年 4 月本会講演大会に講演

\*\* 日立製作所安来工場冶金研究所 工博

\*\*\* 日立製作所安来工場冶金研究所

## II. 試料の熔製および化学成分

実験に使用した試料は 50 kg 高周波誘導電気炉にて金属ニッケル、金属コバルト、フェロクロム、フェロモリブデン、フェロタンゲステンおよび純鉄を原材料とし、添加元素としてフェロニオブ、フェロバナジウム、フェロチタンおよび窒化フェロクロムをそれぞれ別個に所定量加え、50 kg 鋼塊および 30×30×300mmの鍛造試験用インゴットを吹製した。試料の化学成分を Table 1 に示す。

## III. 実験結果

### 1) 鍛造性

鍛造試験用インゴットを 25mm 角に切削し、厚さ 20mm に切断して 900~1,200°C に各 1h 保持後重量 25 kg の鋼製錘を高さ 1m より試料の鍛造方向に落下せしめ、高さの減少率を測定した。この結果を Fig. 1 に示す。

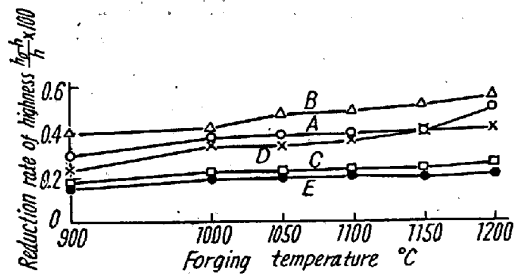


Fig. 1. Relation between reduction ratio of highness and forging temperature.

図に示す如く各試料共鍛造温度の高くなるに従つて鍛造による高さの減少率は次第に大きくなる。しかしてこの傾向は A, B および D が著しく C および E は極めて少ない。また各温度を通じ B が最も鍛造による高さの減少率大きく、次いで A, D, C, E の順となる。従つて鍛造性はこの順に悪くなる。なお以上の実験結果より適当な鍛造温度を決定するに、各試料共鍛造温度 1,200°C では酸化甚しく、従つて鍛造温度は 1,050~1,150°C が適当と思考する。

### 2) 溶体化処理硬度

前述の鍛造温度にて 50 kg 鋼塊を 15mm 角に鍛伸

し、これを厚さ 15mm に切断して試験片とした。溶体化処理温度を 1,000~1,250°C に変え、各温度に 30mn 間保持後水冷して硬度を測定した。この結果を Fig. 2 に示す。各試料共溶体化処理温度の高くなるに従つて硬度は低くなる。しかしてこの傾向は D が最も著しい。溶体化処理温度 1,100°C 以上では E が最も高い硬度を示す。

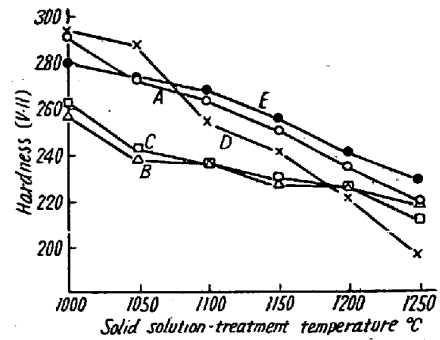


Fig. 2. Relation between hardness and solid-solution-treatment temperature.

### 3) 時効硬度

試料は 15×15×15 mm とし、1,100~1,250°C に溶体化処理を行つて後 400~950°C にそれぞれ 1h 時効して硬度を測定した。この結果のうち 1,200°C および、1,250°C 溶体化処理の場合を Fig. 3 および Fig. 4 に示す。1,100°C 水冷の場合 A は時効温度 400°C より 600°C まで温度の高くなるに従つて硬度は次第に高くなり、650°C で一旦低くなり、700°C で再び硬度は高くなり最高硬度を示す。B は時効温度 500°C まで硬度は高くなり、600°C までは逆に硬度は低下し、700°C で再び硬度は高くなり最高硬度を示す。C は 600°C および 700°C に 2 つの極大を示す。しかして 600°C の場合の硬度が 700°C の硬度より高い。D も A とほぼ同様の傾向を示すが、750°C で最高硬度を示す。E は 600°C まで硬度に大差なく 650°C でやや硬度は低くなり、700°C で最高硬度を示す。また各時効温度を通じ E が最も高い硬度を示す。1,150°C 水冷の場合各試料共時効温度 700°C より急激に硬度は高くなり、750°C で最高硬度を示す。しかしてこの硬度は E が最も高く、次いで A, D,

Table 1. Chemical composition of specimens.

	C	Si	Mn	Ni	Cr	W	Mo	Co	add. element
A	0.51	0.93	1.12	21.40	16.08	1.97	2.10	15.91	—
B	0.52	1.03	1.13	20.50	16.03	2.01	1.98	16.35	Nb 2.9
C	0.52	1.00	1.11	21.00	16.01	2.10	2.19	15.76	V 1.1
D	0.52	1.08	1.11	21.00	15.91	1.96	2.00	16.19	Ti 1.0
E	0.51	1.04	1.16	20.71	15.78	1.99	2.06	16.16	N 0.13

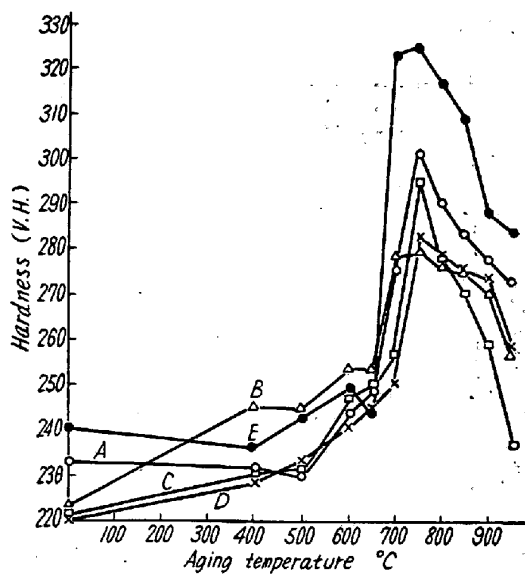


Fig. 3. Relation between hardness and aging temperature (1200°C water cooling)

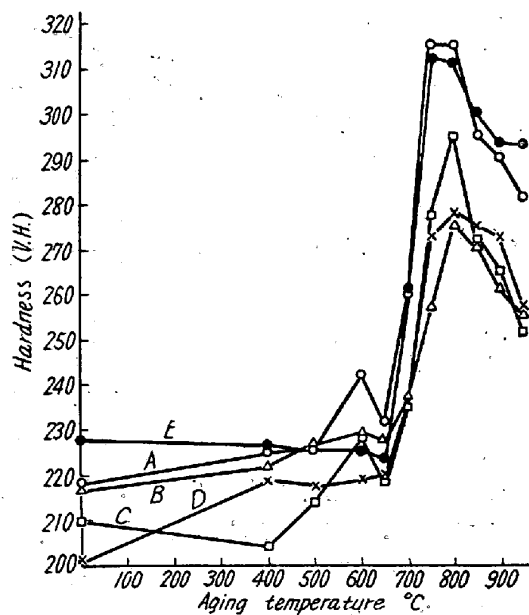


Fig. 4. Relation between hardness and aging temperature (1250°C water cooling)

Bの順となり、Cが最も低い値を示す。1,200°C 水冷の場合は Fig. 3 に示す如く、1,150°C 水冷の場合と同様時効温度 700°C より急激に硬度は高くなり、750°C で最高硬度を示す。しかして得られる硬度はEが最も高く次いで A, C, Dとなり、B が最も低い硬度を示す。1250°C 水冷の場合は Fig. 4 に示す如く各試料共 700°C より著しく硬度は高くなり、A, B, CおよびDの各試料は、800°C、Eは 750°C でそれぞれ最高硬度を示す。しかして得られる硬度はAが最も高く、次いで、E C, D, Bの順となる。以上より溶体化処理温度が高く

なるに従つて各試料共析出硬化は著しく、また得られる硬度も高くなることが判る。

4) 顕微鏡組織

Ni-Cr-Co (20-15-15%) 系耐熱鋼はオーステナイト系である。従つて特殊元素を本実験範囲に加えてもオーステナイト組織を示すが、Mo, W および V は高温強度の向上に役立ち、Ti および Nb は炭化クロムの析出による粒間腐蝕を防ぐ作用をする元素である。組織上においてはBを除いたすべての試料はオーステナイト結晶粒中に炭化物の点在する組織である。Photo. 1 および 2 にBおよびEの顕微鏡組織を示した。Bは他の試料と異なりオーステナイト結晶粒が極めて小さく、また炭化物も微細である。

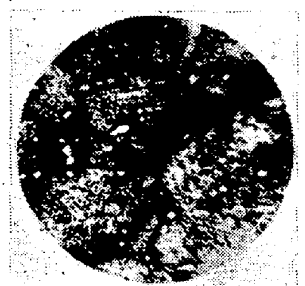


Photo. 1. Microstructure of B  $\times 400(2/3)$  (1200°C water cooling, 750°C aging)  
Photo. 2. Microstructure of E  $\times 400(2/3)$  (1200°C water cooling, 750°C aging)

5) 高温機械的性質

15mm 角の各試料を 1,200°C に溶体化処理し、750°C に 1h 時効した後、平行部 7mm 丸に仕上げ 50t アムスラー万能引張試験機にて 500~900°C の温度における機械的性質を測定した。この結果を Fig. 5, 6, 7 に示す。高温抗張力は Fig. 5 に示す如く各試料共温度の高くなるに従つて抗張力は次第に低くなる。しかして各温度を通じEが最も高い値を示す。次いでA, Bの順となるが両者間には大差ない。Cは試験温度 700°C まで抗張力は殆んど変化ないが、750°C よりやや急激に小さく

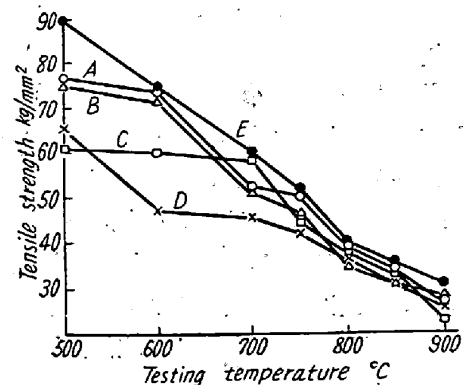


Fig. 5. Tensile strength at high temperatures.

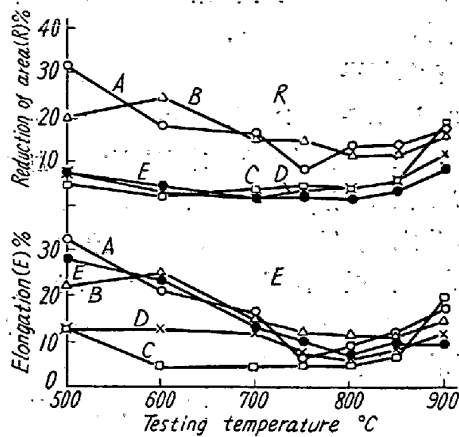


Fig. 6. Elongation and reduction of area at high temperatures.

なる。Dは各温度を通じ概ね最低の値を示す。伸はFig. 6に示す如くAは750°Cまで温度の高くなるに従って次第に小さくなり、800°Cより逆に温度の高くなるに従って大きくなる。B、C、DおよびEは試験温度800°Cまで温度の高くなるに従って伸は次第に小さくなり、850°Cより逆に温度の高くなるに従って大きくなる。しかしてCが各温度を通じ概ね最も小さい値を示す。絞は伸の場合とほぼ同様の傾向を示すが、Eが概ね最も小さい値を示す。衝撃値はFig. 7に示す如く各試料共温度が高くなっても大差ないが、僅かながら大きくなる傾向にある。しかしてBが最も衝撃値大きく、次いでC、A、Dの順となりEが最も小さい。

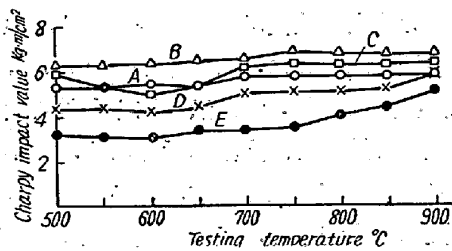


Fig. 7. Charpy impact value at high temperatures.

#### 6) 耐酸化性

15mm角の試料を10φ×20mmに成形し表面をエメリー紙04まで仕上げ後ベンゾールおよびエーテルにて洗滌して試料として用いた。この試料を直径30mm、高さ30mmの磁性坩堝に入れ、管状電気炉にて温度を600、700、および800°Cの3種に変え20hまで加熱して化学天秤にて酸化増量を秤量した。この結果をFig. 8に示す。なお試料は予め1200°Cに溶体化処理し、750°Cに1h時効したものを使用した。加熱温度600°Cの場合にはBが最も酸化増量少なく、次いでE、A、Cの順と

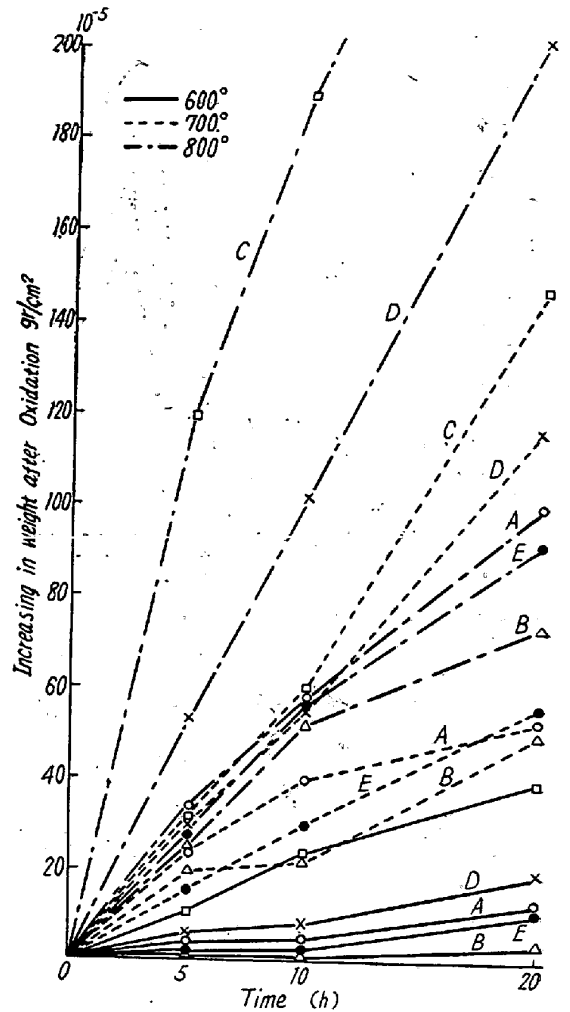


Fig. 8. Relation between increase in weight after the oxidation test and time.

なりDが最も大きい。700°C加熱の場合は600°C加熱の場合と同様Bが最も酸化増量少ない。次いでE、A、D、Cの順となる。しかしてCおよびDの酸化増量は600°Cの場合に比し著しく大となる。800°C加熱の場合にはBが最も酸化増量少なく、次いでE、A、Dの順となり、Cが最も大きくその増量は特に著しい。以上の実験結果より前報に報告したNi-Cr系耐熱鋼の場合と同様VおよびTiは耐酸化性を著しく阻害する。特にVは甚しい。また生じた酸化被膜も甚しくポーラスでかつ地金と容易に剝離する。

#### 7) クリープ限

試験機は前報に詳細報告した如く最大荷重2tの堅型クリープ試験機で、伸測定はマルテンス式エキステンソメータにて行つた。なお各試料は予め1,200°Cに溶体化処理し、750°Cに1h時効したものを用いた。Fig. 9に600、650および700°Cのクリープ限を示した。なおクリープ限の決定はDVM法によつた。図に示す如

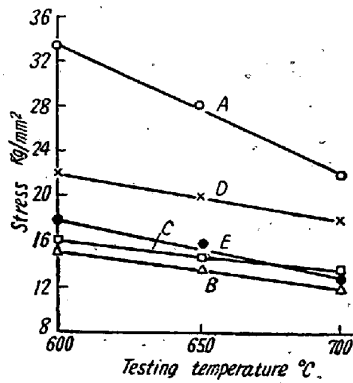


Fig. 9. Relation between creep limit and temperatures (D.V.M. method)

く各試料共試験温度の高くなるに従つてクリープ限は低下する。しかして各温度を通じAが最もクリープ限高く次いでD, E, Cの順となりBが最も低い。従つてクリープ限に関する限り Ni-Cr-Co 系耐熱鋼においては、上記特殊元素の添加は余り効果がない。若し他の性質と関連して添加するとすれば Ti が比較的よい。

#### IV. 結 言

以上の実験結果を要約すれば次く如くなる。

1) Ni-Cr-Co 系耐熱鋼の鍛造性、熱処理硬度、顕微鏡組織、高温機械的性質、耐酸化性およびクリープ限におよぼす Nb, V, Ti および N の影響について実験を

行つた。

2) 鍛造性には Nb が最もよく次いで A, (特殊元素を含有しない試料) Ti, V の順となり N が最も悪い。

3) 時効硬度には N が最も影響して高く、次い A, V, Ti, Nb での順となる。

4) 顕微鏡組織には N, V, Ti は著しく影響しないが、Nb を添加すればオーステナイト結晶粒が甚しく小さくなる。

5) 高温抗張力には N が最もよく、他の諸元素は 700 °C 以上の温度においては大差ない。伸には Nb が最もよく V が悪い。絞および衝撃値には伸びと同様 Nb が最もよく N が最も悪い。

6) 耐酸化性には Nb が最もよく次いで N, A, Ti の順となり V が最も悪い。

7) クリープ限に関する限り上記特殊元素を添加しない A が最もよく次いで Ti, N, V の順となり Nb が最も悪い。

なお本研究は通産省研究補助金の交付によつてなされたものである。

終りに臨み本実験遂行に当り援助された永島、西沼、鷺見研究所員に謝意を表すと共に終始実験に従事された田中康平所員、山根君の労を多とする。

(昭和 30 年 6 月寄稿)