

669. 14. 018. 8 : 669. 15. 24. 25 - 194 ; 621. 785. 363  
 : 669. 112. 227. 346

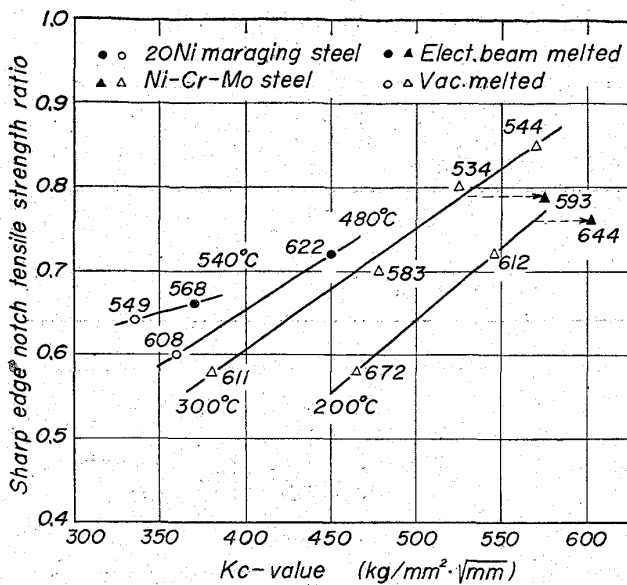


Fig. 4. Relationship of  $K_c$ -value and sharp edge notch tensile strength ratio for 20Ni maraging steels and Ni-Cr-Mo steels.

り、また 20Ni マルエージング鋼の場合は Table 3 に示すように明確な関係は得られなかつた。

前に述べたように、電子ビーム溶解したものは真空溶解したものにくらべて  $K_c$  値が大きい。また Fig. 4 について硬度と切欠強度比を検査してみると、同一硬度の場合電子ビーム溶解したものは切欠強度比が大きい。このことは電子ビーム溶解したものは切欠先端近傍の初期塑性変形が容易で塑性域が大きく、高い  $K_c$  値を示すことを示唆しているように思われる。

なお本実験では 20Ni マルエージング鋼の  $K_c$  値は Ni-Cr-Mo 鋼 (N1~N4) の  $K_c$  値より小さいが、これは靱性に有害な Ti 含有量が規格値 (1.3~1.6%) より高いためによるものとも考えられる。

#### 4. 結 言

真空溶解した 20Ni マルエージング鋼および Ni-Cr-Mo 鋼 (JIS-SNCM8) を電子ビーム溶解し、その靱性におよぼす電子ビーム溶解の影響を検討した結果、次の結論を得た。

(1) 20Ni マルエージング鋼の場合バラツキが減少するほかは、シャルピー衝撃値については電子ビーム溶解の影響は認められない。

(2) 破壊靱性  $K_c$  値は各鋼とも電子ビーム溶解により増加する。破壊靱性は衝撃値にくらべて組織敏感性があり、超強力鋼の靱性の評価には適当であると思われる。

(3) 切欠強度比、延性破面率は必ずしも  $K_c$  値と同じ傾向は示さない。

#### 文 献

- 1) A Report of a Special ASTM Committee, ASTM Bulletin, (1960)243, Jan., p. 29; 224, Feb., p. 18
- 2) J. L. SHANNON, JR., G. B. ESPEY, A. J. REPKO, W. F. BROWN, JR.: Proc. Amer. Soc. Test. Mat., 60 (1960), p. 761

### (139) Co を含むマルエージング型ステンレス鋼の熱処理と機械的性質について

(マルエージング型ステンレス鋼に関する研究—I)

日本冶金工業, 川崎製造所

工博 横田 孝三・○江波戸 和男

On the Heat Treatment and Mechanical Properties of Maraging Stainless Steel Containing Cobalt.

(Study on maraging stainless steel—I)

Dr. Kozo YOKOTA and Kazuo EBATO.

#### 1. 結 言

著者らはかねてよりステンレス鋼の耐食性、耐熱性および耐酸化性を失うことなく高力で靱性に富むステンレス鋼の開発を続けてきた。その結果、低炭素 Fe-Cr-Co-Ni-Mo 系マルテンサイトで時効硬化させることにより、約 180kg/mm<sup>2</sup> の引張強さと優れた靱性の得られることを知った。この合金系で耐食性または硬化性を増すためには Cr および Mo が効果的であり、靱性を保持するためには Ni が必要である。また合金の組織は均一なマルテンサイト組織であることが望ましく、Cr や Mo による  $\delta$  フェライトの生成を抑制しかつ残留オーステナイトを少なくするためには Co は非常に有用であることを増告したり。

本報告はこれら一連の研究から得られた高力で靱性に富む新しいマルエージング型ステンレス鋼の熱処理特性と、機械的性質について検討し、本鋼種に対する適正熱処理とその特性を追求した結果である。また先に報告した低炭素 Fe-Ni-Co-Mo 系マルエージング鋼の特性との比較検討も行なう。

#### 2. 供試材および試験方法

12%Cr-Fe 合金に 12.5Co, 5.0Mo, 4.5Ni を添加し Ms 点を約 130°C とし  $\delta$  フェライトを共存せず、かつ時効硬化能を有する Table 1 に示す鋼を溶製した。溶製に当つては消耗式電極真空アーク炉を使用し、得られた 500kg 鋼塊を熱間鍛造および熱間圧延により 25. mm  $\phi$  棒材および 2mm 板として各種試験に供した。焼鈍および時効処理温度が機械的性質におよぼす影響を知るために、焼鈍温度を 800~1050°C、時効温度を 400~800°C と変化させた。なお焼鈍時間は 1hr 時効時間は 1min~300hr とした。これら処理によつて得られた試片について Ms 点の測定、顕微鏡組織、マルエージング処理による析出硬化および低温、常温、高温での

Table 1. Chemical composition of steel tested.

| C     | Si    | Mn   | P     | S     | Ni    |
|-------|-------|------|-------|-------|-------|
| 0.026 | 0.07  | 0.13 | 0.004 | 0.014 | 4.47  |
| Cr    | Co    | Mo   | N     | B     | Zr    |
| 12.22 | 12.43 | 5.00 | 0.023 | 0.005 | 0.002 |

強度試験を実施した。

3. 実験結果

3.1 供試材の Ms 点および組織

950°C 焼鈍後の Ms 点を熱膨張試験により測定した結果約 110°C にあり Mf 点は 0°C 以下であった。したがって焼鈍、空冷処理では室温でオーステナイトが残留する。しかし -73°C での深冷処理を施すことによりほとんどマルテンサイト組織となる。

3.2 マルテンサイト基質の機械的性質におよぼす焼鈍温度の影響

800~1050°C で焼鈍後機械的性質を調べた結果、Fig. 1 に示すように焼鈍、空冷状態および深冷処理状態ともに硬さおよび強さは温度上昇とともに低下する。この温度範囲では変態前のオーステナイト結晶粒度に大きな差は認められない。この結果および本供試材が 12%Cr 鋼であることを考慮して、焼鈍温度は 950°C とし、そのあと深冷処理によりマルテンサイト組織を得ることが適当と考えられる。この処理でこの鋼の引張強さは約 120 kg/mm<sup>2</sup>、0.2% 耐力 55 kg/mm<sup>2</sup>、伸び 21% で焼戻し前の 13% Cr マルテンサイト鋼に比して軟かく靱性に富む。

3.3 マルエージングによる硬さ変化

Fig. 2 は 400~600°C で 100hr まで時効処理した場合の硬さ変化を示す。いずれも 950°C 焼鈍空冷後深冷処理して試験に供した。450°C までの時効温度では硬

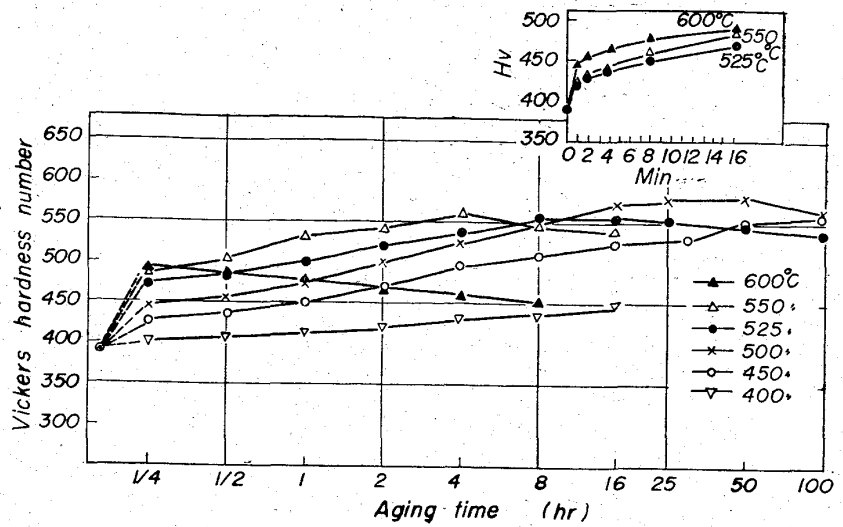


Fig. 2. Effect of aging on hardness in tested steel.

化は徐々に行なわれるが 500~550°C では硬化は短時間のうちに急激に行なわれ、例えば 525°C×8hr では最高硬さ 556Hv となる。時効による硬化はある時間で飽和し、それ以上の加熱時間では軟化する。600°C では時効開始後約 20min で最大硬さが得られる。得られる最大硬さは時効温度が低い長時間側でより大きい。Fig. 2 から 500°C で 25~50hr または 525°C で 4~8 hr で安定した硬さが得られることが知られる。このマルエージングによる硬化を 18% Ni Co Mo 系のマルエージング鋼の場合<sup>2)</sup>と比較すると本供試鋼の方が時効硬化は高温側で起こり、かつ軟化する温度、時間も高温長時間側にずれている。すなわちマルエージング鋼の最適時効条件は 482°C×3hr であるのに対して本供試鋼では 525°C×4hr である。これは両者の析出物の違いによるものと考えられる。またこのことから高温での軟化抵抗が本供試鋼の方が大きいと云えよう。

3.4 機械的性質におよぼす時効温度・時間の影響

Fig. 2 から知られるように本供試鋼の時効硬化は時効温度に非常に敏感である。Fig. 3 は Fig. 2 の場合と同じ前処理をした棒材を 400~600°C で各 4hr 時効し、そのあとで機械的性質を調べた結果で強さおよび硬さは 500~525°C で最大となり、延性および靱性は 525~550°C で最小となる。しかしこの最小値でも伸び 19.5%、絞り 53.4%、シャルピー衝撃値 14.9 ft-lb で構造材として十分使用できる範囲と考えられる。特に破断は部分的な収縮によつて行なわれるので、伸びに比して絞りの値が大きいのが特徴と云える。525°C の時効で得られる最大強さは 18% Ni Co Mo マルエージング鋼にほぼ匹敵する。Fig. 3 から明らかなように耐力と引張強さとの差は時効温度が低い場合には大きい最も強化の大きい 525°C では約 26 kg/mm<sup>2</sup> となる。Table 2 は 2mm 板材について 525°C で 0.5~4hr 時効した場合の機械的性質の変化で引張強さは硬さの変化とはほぼ同一の傾向を示すが 0.02% および 0.2% 耐力の変化はこれと異なり、深冷処理状態で 0.2% 耐力は引張強さの約 60% であるのに、時効 30min で 90% 以上に増大する。このことから時効による効果は特に耐力に最も敏感

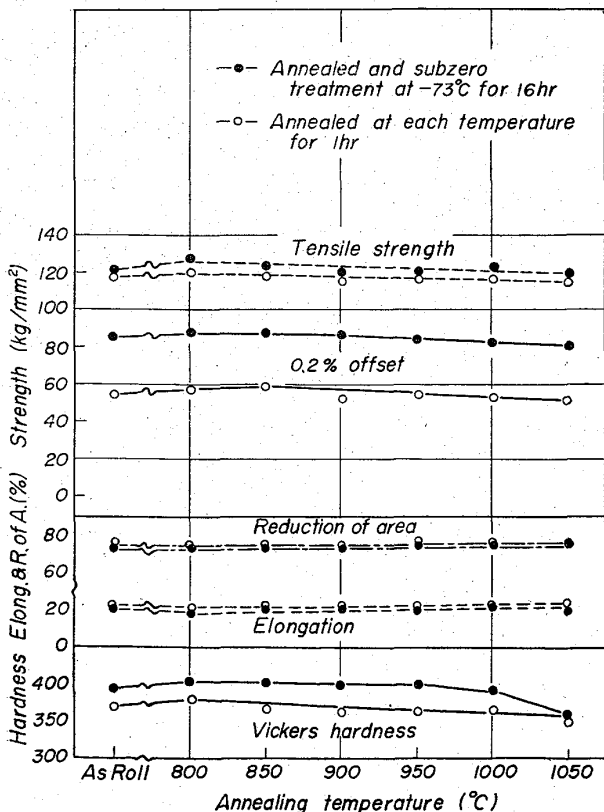


Fig. 1. Effect of annealing temperature on the mechanical properties of tested steel.

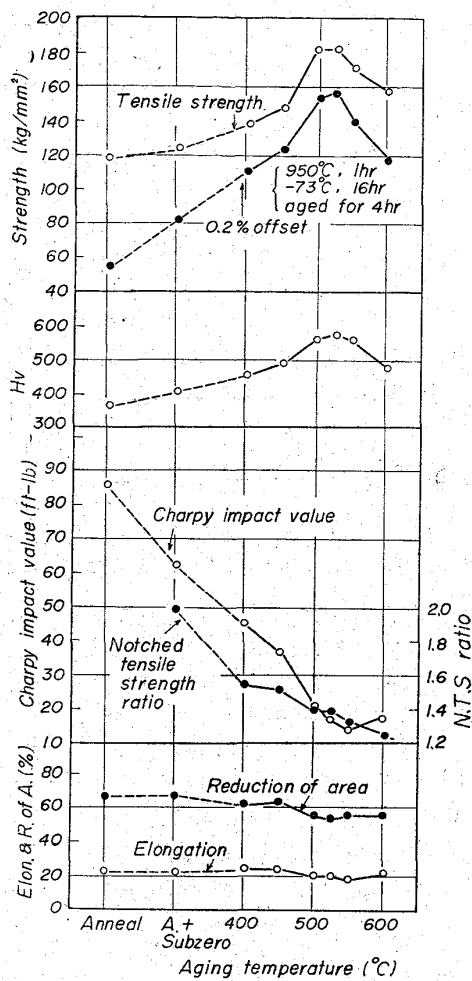


Fig. 3. Effect of aging temperature on the mechanical properties of steel tested.

であると云える。

3.5 時効材の再加熱による機械的性質の変化

Fig. 4 は 525°C で 4hr 時効した試料を 600~800°C で各 1hr 再加熱した際の機械的性質の変化で、引張強さは 700°C までは急激に低下し、それ以上の温度では徐々に軟化し、伸び絞りは再加熱温度の上昇とともにやや増加の傾向にある。衝撃値は 600°C 以上の再加熱で急激に回復する。このことから時効硬化が再焼鈍によって消えるとともに適当な熱処理条件を選べば、種々の機械的性質の組合せが得られることが知られる。この変

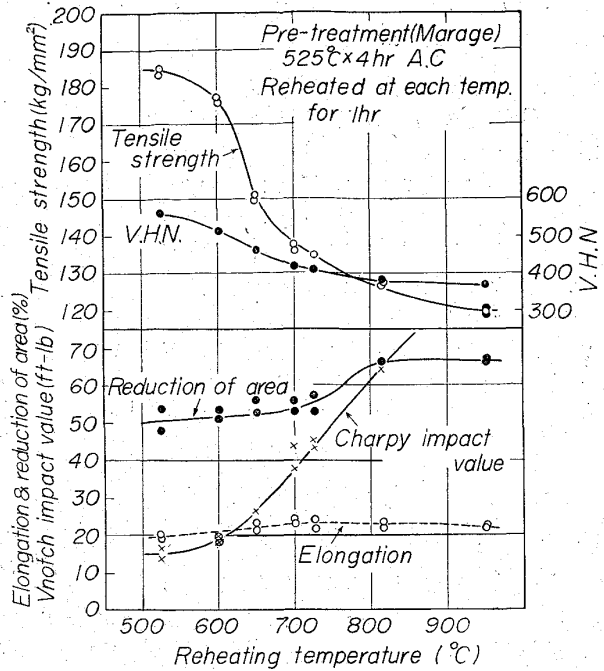


Fig. 4. Effect of reheating on 1hr mechanical properties of maraged steel. (bar)

化は基質マルテンサイトのオーステナイトへの逆変態と析出物の再固溶によるものと考えられる。

3.6 時効材の高温での機械的性質

525°C および 550°C で 4hr 時効した試料について常温~550°C で高温引張試験を行なった。その結果 Fig. 5 に示すように 500°C までは強さの低下は少ないが、500°C 以上では強さは急激に低下する。この傾向を図中に併記した 18% Ni Co Mo マルエージング鋼と比較すると約 300°C までは同様であるが 300°C 以上でマルエージング鋼の強度低下が大きい。特に時効温度付近で両者の差は顕著である。

3.7 標準熱処理条件での機械的性質と耐食性

上記の結果から本供試鋼の標準熱処理としては焼鈍(950°C)、深冷処理(-73°C)および時効処理(525°C)が適当である。Table 3 はそれぞれの条件での棒および板材についての機械的性質で板材の強さは引張方向の影響はないが硬化処理後の伸びは圧延方向に直角でやや小さい値を示す。また腐食試験の結果種々の酸に対する耐食性は 18% Cr 鋼とほぼ同一であることが知られた。耐酸化性は空气中 800°C での 100hr 試験で 0.87mg/

Table 2. Mechanical properties of sheet material aged at 525°C for 0.5 to 4 hr.

| Conditions                | 0.02% offset (kg/mm <sup>2</sup> ) | 0.2% offset (Y.S.) (kg/mm <sup>2</sup> ) | Tensile strength (T.S.) (kg/mm <sup>2</sup> ) | Elongation in 2 inch (%) | Y.S./T.S. |
|---------------------------|------------------------------------|--|---|--------------------------|-----------|
| 950°C×1/2 hr, -73°C×16 hr | 42.0                               | 82.3                                     | 133.3   | 9.2                      | 61.5      |
| Aged at 525°C for         | 0.5 hr                             | 105.2                                    | 144.0   | 10.8                     | 93.5      |
|                           | 1 hr                               | 110.5                                    | 155.6   | 10.2                     | 95.4      |
|                           | 2 hr                               | 110.7                                    | 160.4   | 9.4                      | 91.5      |
|                           | 3 hr                               | 112.8                                    | 159.9   | 8.7                      | 89.9      |
|                           | 4 hr                               | 113.1                                    | 159.5   | 180.9                    | 8.3       |

Average in two specimens.

Table 3. Mechanical properties of steel tested.

| Heat treatment                                   | Form                | Direction       | Mechanical properties |                                   |  |                |              |   |                                  |
|--|---------------------|-----------------|-----------------------|-----------------------------------|--|----------------|--------------|---|----------------------------------|
|  |                     |                 | Vickers hardness      | 0.2% offset (kg/mm <sup>2</sup> ) | Tensile strength (kg/mm <sup>2</sup> ) | Elongation (%) | R. of A. (%) | Notched T. S. <sup>3)</sup> (kg/mm <sup>2</sup> ) | Chapry value <sup>4)</sup> ft-lb |
| 950°C<br>A. C.                                   | Bar <sup>1)</sup>   | —               | 360                   | 52.9                              | 117.8                                  | 21.9           | 66.3         | —   | 84.3                             |
|  | Sheet <sup>2)</sup> | Long.<br>Trans. | 371                   | 36.6<br>39.7                      | 115.8<br>113.4                         | 12.8<br>12.2   | —            | —   | —                                |
| 950°C<br>A. C.<br>-73°C<br>×16 hr                | Bar                 | —               | 385                   | 82.8                              | 124.0                                  | 22.2           | 66.4         | 199.5   | 63.0                             |
|  | Sheet               | Long.<br>Trans. | 387                   | 78.3<br>78.3                      | 132.0<br>135.0                         | 10.0<br>9.9    | —            | —   | —                                |
| 950°C A. C.<br>-73°C<br>×16 hr<br>525°C<br>×4 hr | Bar                 | —               | 552                   | 165.5                             | 183.0                                  | 19.7           | 49.1         | 255.0   | 16.2                             |
|  | Sheet               | Long.<br>Trans. | 575                   | 155.3<br>160.7                    | 185.3<br>185.6                         | 11.0<br>9.5    | —            | —   | —                                |

1) dia. 5mm φ, G. L. 18.3mm, 2) width 1/2 inch, G. L. 2 inch, 3) 7.6mm φ major dia., 5.4mm φ root dia., about 0.018mm notch root dia., 4) 2mm V notched specimen.

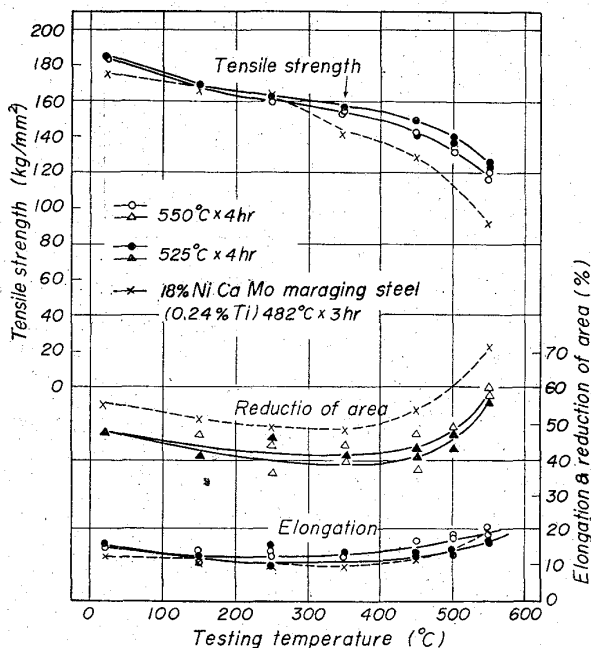


Fig. 5. Elevated temperature tensile properties of steel tested.

cm<sup>2</sup> の酸化減量で 17-4PH 鋼よりも優れている。

4. 総括

- 1) 本供試鋼は Ms 点が約 110°C にあるので焼鈍処理によって常温でマルテンサイト変態を完了せず、深冷処理を施すことによりほぼ均一なマルテンサイト組織が得られる。
- 2) このマルテンサイト組織を時効すると急激に硬化する。硬化温度は 525°C が適当である。この硬化は金属間化合物の析出によるものと考えられ、いわゆるマルエージングに相当するものである。
- 3) 本供試鋼と 18% Ni Co Mo マルエージング鋼と

を比較すると常温での機械的性質は両者ともほとんど変わらないが、本供試鋼は時効温度が高いことから高温での軟化抵抗が大きく、300~500°C での高温強さも高い利点を有する。

4) 機械的性質はマルテンサイト、オーステナイト組織および析出相により大きく影響を受ける。

5) 耐食、耐酸化性は従来の析出硬化ステンレス鋼とほぼ等しい値を示す。

文 献

- 1) 横田, 江波戸: 日本金属学会第 52 回講演会前刷, (1963), p. 69
- 2) 川畑, 横田, 渡辺, 江波戸: 鉄と鋼, 49 (1963), p. 570

(140) 18Ni および 15Ni マルエージング鋼の常温ばね特性について (ばね用超合金の研究—VIII)

三菱製鋼

○金井 良昭・関 不二雄  
上正原 和典・工博 内山 道良  
On the Spring Properties of 18Ni and 15Ni Maraging Steels at Room Temperature.

(Studies on super alloys for spring—VIII)

Yosiaki KANAI, Fujio SEKI  
Kazunori KAMISHOHARA  
and Dr. Michira UCHIYAMA.

1. 緒言

ばね用超合金の研究として筆者らは先に Refractaloy 26 型合金<sup>1)</sup>および Inconel X 型合金<sup>2)</sup>を調査した