論 文

約 1% Al を含む 17・7 PH 不銹鋼の熱処理材の機械的性質について*

古 川 徹** 佐 藤 知 雄***

To-oru Furukawa and Tomo-o Sato: Study on the Mechanical Properties of 17・7-PH Stainless Steel Containing About 1% Al. (Study on 17・7-PH Stainless Steel (3)). 17 Cr, 7 Ni stainless steel containing about 1% Al was experimented upon for determining its mechanical properties after heat treatments such as solution treatment, intermediate quenching and aging at various temperatures and hours. The following results were obtained: (1) The Ms point of this steel is in the range of 150~0° when it is quenched from 750~1000°. So this steel may be hardened by water quenching. (2) This steel showed better mechanical properties by aging after solution treatment and intermediate quenching. The highest values were obtained under the following aging conditions; 400°×100hr, 450°×8~12 hr, 470°×5~8 hr and 500°×1 hr. (3) The maximum values of mechanical properties were as follows: tensile strength, about 160 kg/mm²; yielding strength (0.2%) about 120 kg/mm² and elongation 4~6%.

(Received November 1, 1958)

I. 緒 言

第1報⁽¹⁾において 0.73% Al を含む 17・7 PH 不銹鋼は、冷間加工によつてマルテンサイトを生成し著しく硬化するが、Ms 点が 0° 以下にあるため、普通の熱処理によつてはマルテンサイト変態を起こさず、硬化しないことを述べた。本研究においてはマルテンサイト変態を容易とし、同時に時効硬化に寄与するように Al の含有量を増した鋼について、焼入れとその後の時効処理による硬化の関係を実験した。

II. 試料および試験方法

本実験に使用した試料の化学分析値を Table 1 に示す。

Table 1 Chemical composition of specimen.

C %	Si %	Mn %	P %	S %	Ni %	Cr %	Al %	Cu %
0.09	0.72	0.66	0.024	0.008	6.81	17.52	0.93	0.11

顕微鏡検査および硬さ試験には 15×15×1.6 mm の板状試片を、引張試験には厚さ 0.8 mm で第1報に示したと同形の試片を用いた。試料は高周波電気炉で熔製して鋼塊とし、これを高温鍛造して 19 mm 丸棒とした後、高温圧延によつて厚さ 1.6 mm の平板にしてこれを素材とした。(a) この素材を機械加工して各種試験片を作製した。(b) これらの各試料を真空中で 1050°, 30 min 加熱して溶態化処理した後その半数を水中冷却し、残る半数を空中冷却した。(c) 水冷材、空冷材ともにそれぞれ 750°, 770°, 800° にて 3 hr 加熱した後、半数を水中冷却し、残る半数を空中冷却した。その結果 12 種類の試料群が出来た。(d) 上記の熱処理を施したのものについて 400~500° で 0.5

~500 hr 時効処理を行った。

III. 実験結果およびその考察

本鋼を 1050°×30 min 加熱、水冷後 750~950° まで再加熱し 10 min その温度に保持した後、空冷した場合の示差熱膨脹曲線を求め、これより Ms を決定した。Fig.1

Fig.1 Effect of quenching temperature on Ms point and hardness.

は再加熱温度と Ms 点および試片のロックウェル C 硬度の関係を示す。Ms 点は 750° に再加熱して急冷した場合約 130° に現われ、775° では 150° に上昇する。以後加熱温度の上昇とともに下降し、1000° では約 4° となり、これ以上の温度に加熱した場合 Ms 点は 0° 以下となる。以下の実験はすべて溶態化処理温度として 1050° を採用した。

Fig.2 に溶態化処理後 500~850° に 1, 3 および 10 hr 加熱した後、水焼入したもののヴィッカーズ硬さを示す。これらの試料のように溶態化処理によつて完全にオーステナイト組織としたものは、これを 600° 以下の温度で時効処理を施しても、殆んど硬さの変化はないが、700° 以上に加熱して水焼入すると硬化を始め、750~850° からの急冷によつて明らかにマルテンサイトを生じ硬化する。また 700~850° に保持する時間が長くなれば、急冷後の硬さが高くなることは Fig.2 から知られるが、再加熱時間

** 新潟大学工学部機械工学科

*** 東北大学工学部金属工学科

* 1958年4月本会東京大会に発表; 17・7 PH 不銹鋼の材新学的研究(第3報)

(1) 佐藤, 古川: 本誌, 22(1958), 253.

を変化させて行つた実験結果を Fig.3 に示す。曲線は 1050° に溶態化処理、その後 700~850° に再加熱し、

Fig.2 Effect of intermediate quenching temperature after the solution treatment on V.H.N.

Fig.3 Effect of reheating time after the solution treatment on V.H.N.

Fig.4 Effect of aging time at 400° on V.H.N.

加熱後空冷した試片を用いたものである。また時効後の冷却条件はいずれも空冷である。なお図の混雑を避けるため、溶態化処理の際の空冷と水冷の場合を、それぞれまとめて縦軸の読みをずらせて描いてある。曲線が示すように前処理条件の相違によって若干の差があるが、大体100 hr 時効で最高の硬さに達し、それ以後非常に徐々に低下する

1~10hr 保持した後水冷した場合の保持時間と硬さの関係を示してある。各加熱温度の場合とも保持時間 1 hr で水冷した場合に硬さは急に上昇

し、その後 10 hr まで徐々に上昇する。Figs.1~3 の実験結果から溶態化処理後マルテンサイト化のための熱処理条件としては、750~800° に 3hr 加熱後水冷または空冷することを適当と認めた。

Fig.4 は溶態化処理後、750~800° に 3hr 加熱、水冷または空冷した後 400° で時効させた場合の時効時間と硬さの関係を示す。図に附記した記号の表わす意味は、例えば A 75 W は溶態化処理後空冷 (A)、750° に 3 hr 加熱後水冷 (W) した試片、W 80 A は溶態化処理後水冷、800° に 3 hr

傾向を示す。時効後の硬さは溶態化処理の際の冷却条件によつてはほとんど影響されず、W 77 W, W 75 W の条件にて硬化の割合が最も著しい。

Fig.5 Effect of aging time at 450° on V.H.N.

Fig.6 Effect of aging time at 470° on V.H.N.

Fig.7 Effect of aging time at 500° on V.H.N.

す。いずれの条件のものも 1~2 hr 時効で最高の硬さを示し、かつ全体的に溶態化処理の際に水冷したものがやや高

Fig.5 は溶態化処理後 750~800° に 3 hr 加熱、水冷または空冷した後、450° にて時効させた場合の時効時間と硬さの関係を示す。いずれの前処理条件の場合も 12 hr 時効のものが最高の硬さを示し、それ以後時間の増と共に徐々に軟化する。400° 時効の場合と同じく、時効後の硬さは溶態化処理の際の冷却条件によつてほとんど変化がない。また Fig.6 は同じ前処理を施した後 470° にて時効させた場合の時効時間と硬さの関係を示す。いずれの前処理条件のものも 8 hr 時効のものが最高の硬さを示し、それ以後徐々に軟化する。Figs.5 および 6 の場合と同様に時効後の硬さは溶態化処理および焼入れ条件によつてほとんど影響されず、わずかに 770° で焼入れたものの硬さが高い。

Fig.7 に同じく 500° で時効させた場合の時効時間と硬さの関係を示

い硬度を示した。

以上の結果から時効後の硬さは熱処理条件によつて若干差があるとしても、その差は極めて僅少であることが知られる。以上 12 種類の熱処理を施した試料の引張試験結果を Figs.8~11 に示す。

Fig.8 は図に附記した 4 種類の熱処理を施した後、400°

Fig.8 Effect of aging time at 400° on mechanical properties.

で時効させた試料の機械的性質と時効時間との関係を示す。時効時間が長くなるにつれて引張強さ (σ_B kg/mm²), 耐力 (0.2%) ($\sigma_{0.2}$ kg/mm²), 硬さ (VHN) は上昇し、少くとも 100 hr 時効までは上昇を続け、500 hr ではやや低下する。100 hr 時効においてヴィッカース硬度 550, σ_B は 145~155 kg/mm², $\sigma_{0.2}$ は 120~130 kg/mm² の高い値を

Fig.9 Effect of aging time at 450° on mechanical properties.

示し、かつ 4~5% の伸びを示した。20 hr 時効において伸びがやや増しているが、この理由については明らかでない。

い。現在本鋼の時効硬化機構の研究と併せて研究中である。

Fig.9 は同様に 4 種類の熱処理を施した後、450° で時効させた場合の機械的性質と時効時間との関係を示す。時効時間が 1, 3, 5 hr と長くなるにつれて硬さ、引張強さ、耐力 (0.2%) は急激に上昇する。それ以後の上昇はゆるやかになり硬さについては約 12 hr, 引張強さおよび耐力は約 8 hr の時効で最高値を示した。伸びはほとんど変化なく 4~6% であった。

Fig.10 は同様に 470° で時効させた場合で、Fig.9の

Fig.10 Effect of aging time at 470° on mechanical properties.

場合の如く時効時間が長くなるにつれて硬さ、引張強さおよび耐力は急激に上昇し、硬さは約 8 hr で、引張強さおよび耐力は 5~8 hr の時効で最高値に達した。また伸びは 4~5% を示した。

Fig.11 も同様に 500° で時効させた場合で、0.5 hr

Fig.11 Effect of aging time at 500° on mechanical properties.

の時効で硬さ、引張強さ、耐力は著しく高くなり、それ以後徐々に上昇して硬さは 2 hr で、引張強さおよび耐力は

Photo.1 Microscopic structures of quenched and aged 17·7-PH stainless steel.(×400)

1hr 時効で最高値を示した。伸びは 4~5% を示した。

以上の結果から時効温度が異なると共にそれぞれ異なった時効時間で機械的性質が最高値を示すこと、その最高値は時効温度が低いほど高い値を示すことが知られた。なお過時効によつて機械的性質は著しく劣化する。各時効温度にて最高の機械的性質を与える時効時間は 400° にて 100 hr, 450° にて 12hr, 470° にて 8hr, 500° にて 2hr であった。

Photos. 1(a)~(n) に本鋼の試片について各種の熱処理を施した場合の顕微鏡組織を示した。それぞれの熱処理条件は図に附記した通りである。(a) は溶態化処理したもので δ -フェライトの析出が見られ、基質はオーステナイトである。(b) は溶態化処理後 800° に再加熱し、この温度に 3 hr 保った後水冷したもので、基地にマルテンサイトの生成が認められる。(c)~(k) は (b) なる前処理を行った後 400~500° にて各種の時間時効させたものの組織である。

Photo.1 (l) は溶態化処理後、中間焼入れによつてマルテンサイト化した後 600° に 1 hr 時効、空冷したもの、Photo.1(m) は同じく 700° に 1 hr 時効空冷した組織で、一部マルテンサイトの分解が始まつておる。

Photo.1(n) は同じく 725° に 10 min 時効し空冷したものの組織で、マルテンサイトの分解がより進んでおるのが認められる。

IV. 結 言

0.93% Al を含有する 17·7-PH 不銹鋼について溶態化処理後、中間焼入れによつてマルテンサイトを生ぜしめて硬化した後、400~500° で時効処理を施し、その焼入条件、時効処理条件と硬さ、引張強さ、耐力 (0.2%)、伸びの関係を明らかにすると共に、顕微鏡組織を観察した。実験結果を次の如く要約することが出来る。

(1) 17% Cr, 7% Ni 不銹鋼に約 1% Al を含有させたものは 1050° での溶態化処理後、750~1000° に加熱して冷却した場合、Ms 点は 150~0° の範囲にある。

(2) 故に 750~1000° からの焼入れによつてマルテンサイトを生ぜしめて硬さ、耐力 (0.2%)、引張強さを著しく高くすることができる。

(3) マルテンサイト化後、400~500° で適当な時間時効処理を施すとさらに硬化し、機械的性質は著しく向上する。

(4) 以上の硬化は一般の時効現象と同じく、時効温度によつて異なる一定の極大を示す。すなわち本鋼は溶態化処理後 750~800° に再加熱して急冷、さらに 400°×100 hr または 450°×12 hr, 470°×8 hr, 500°×2 hr 程度の時効処理を施すことによつて最高の強度および耐力となる。

(5) 得られた機械的性質の最高値は次の通りであった。引張り強さ約 160kg/mm²、耐力 (0.2%) 約 120 kg/mm²、伸び 4~6%。

本研究を遂行するにあたり、多くの便宜と助言とを与えられた東北大学工学部金属工学科金子秀夫博士を始め佐藤研究室の各位に感謝する。なお本研究は文部省科学研究費による総合研究の一部である。