17-7 PH ステンレス鋼の機械的性質 および耐蝕性について*

古 川 徹**

Tooru Furukawa : The Mechanical Properties and Corrosion Resistivity of 17-7 PH Stainless Steel (Study on 17-7 PH Stainless Steel (7)). The effects of austenitizing, cold rolling and aging conditions on the mechanical properties, corrosion resistivity and micro-structure of 17-7 PH stainless steel containing 1.15% Al or 1.54% Al were investigated. The results obtained are summarized as follows: (1) When the austenitizing temperature was in the range of 750°~825°C, no remarkable difference was observed in the mechanical properties of this steel after aging.

(2) As for the steels containing 0.73~1.54% Al, a rapid increase in hardness took place in the early stage of aging, following which a slow hardening continued to the maximum hardness. While the increase in the Al content which promoted the hardness augmentation in the early stage delayed the peak hardness to be reached.

(3) An experimental formula for the relation between the Al content and the aging time required to obtain the best mechanical properties at each aging temperature is as follows:

$$t = 5.144 \times (Al\%)^{1.476} \times 10^{10439/T-14}$$

(4) In 40 wt% nitric acid solution (boiling), all the specimens attained a passive state and showed excellent corrosion resistance.

(5) In 10 wt% sulfuric acid solution (30°C), specimens which were aged at 400°~500°C after austenitizing treatment for the duration in sufficient to get the maximum hardness or aged after cold rolling, attained a passive state and showed good corrosion resistance.

(Received July 19, 1963)

I. 緒 言

17-7 PH 不銹鋼は Armco 社で発表されて以来、その機械的性質および耐蝕性について多くの報告^{(1)~(11)}がある

** 新潟大学工学部機械工学科 (Department of Machinery, Faculty of Engineering, Niigata University, Nagaoka)

* 1959 年 11 月本会大阪大会 および 1962 年 10 月本会広島大会に発表; 17-7 PH 不銹鋼の材料学的研究 (第 7 報)

- (1) 藤田: 金属, **28**(1958), 401.
- (2) 川畑, 佐藤: 金属, **28**(1958), 409.
- (3) G.W.Goller and W.C.Clarke: Iron Age, **165**(1950), 79.

- (4) M.W.Marschall, D.C.Perry and N.R.Harpster: Metal Progress, **70**(1956), July, 94.
- (5) J.T.Richards and E.M.Smith: Metal Progress, **71**(1957), May, 71.
- (6) A.W.Brisbane: WADC Tech. Rep. 58-400(1959).
- (7) N.L.Carwile and S.J.Rosenberg: WADC Tech. Rep. 58-653(1959).
- (8) J.V.Gluck and J.W.Freeman: WADC Tech. Rep. 59-339(1959).
- (9) D.C.Ludwigson and A.M.Hall: DMIC Rep., **111**(1959), April, 20.
- (10) D.A.Reberts, D.B.Roach and A.M.Hall: DMIC Rep., **112**(1959), May, 1.
- (11) R.J.Favor, O.L.Deel and W.P.Achbach: DMIC Rep., **137**(1960), Sept. 23.

が、時効反応の進行に伴う機械的性質の変化具合、時効条件と耐蝕性、および最適時効条件などによぼす Al 含有量の影響については報告されていない。これらの点を明らかにするため、著者は 0.73% Al および 0.93% Al を含有する 17-7 PH 不銹鋼について、オーステナイト調整処理条件、冷間圧延度、時効条件および機械的性質、耐蝕性などによぼす Al 含有量の影響について系統的に研究を進めて来た^{(12)~(17)}が、引続いてさらに Al 含有量を増してマルテンサイト変態をより生じやすくし、かつ時効硬化に寄与する要素を増した鋼種について同様の実験を行なった。本報では 1.15% Al および 1.54% Al を含有する鋼種のオーステナイト調整処理条件、冷間圧延度、時効条件と機械的性質、耐蝕性および顕微鏡組織の関係について述べ、あわせて前報^{(12)~(17)}までの結果と総合して時効進行に伴う機械的性質変化、および最適時効条件によぼす Al 含有量の影響について報告する。

II. 試料および試験片の準備

1. 試料の化学成分および試験片の寸法

本実験に使用した試料の化学分析値を Table 1 に示す。顕微鏡組織試験には 15 mm×15 mm×1 mm の、耐蝕試験には 20 mm×20 mm×1 mm の角型試験片を、引張試験には Fig. 1 の試験片を用い、硬さ試験は引張試験片の掴みの部分で行なった。

Table 1 Chemical composition of specimens.

	C (%)	Si (%)	Mn (%)	P (%)	S (%)	Cr (%)	Ni (%)	Al (%)	Cu (%)
A	0.09	0.53	0.74	0.018	0.015	17.34	7.01	1.15	0.04
B	0.07	0.60	0.74	0.011	0.014	17.16	6.93	1.54	0.014

Fig. 1 Test piece for tensile test.

2. 試験片の準備

実験は溶態化処理後オーステナイト調整を行ない熱処理によって硬化する方法と、冷間圧延によって硬化する方法とについて行なった。高周波電気炉によって溶製した鋼塊を高温で鍛造、圧延し、熱処理によって硬化する試料は厚さ 1 mm の平板とし、冷間圧延によって硬化する試料は、

高温圧延後溶態化処理を行ないその後所定の冷間圧延を施したが、冷間圧延後の厚さが 1 mm となるようにした。その後機械加工によって所定寸法の各試験片とした。試料に施した熱処理、加工はつぎのごとくである。

溶態化処理：真空中で 1050°C×0.5 hr 加熱後 空中冷却した。

中間処理(硬化処理)：(a) 熱処理によって硬化する試料；溶態化処理後真空中で 750°, 775°, 800°, 825°C×3 hr のオーステナイト調整後半数を 0°C の水中に急冷し、半数を空中冷却した。空中冷却の場合も試験片の温度が室温付近まで下つたら 0°C の水中に冷却した。いずれの場合も 0°C の水中に 4 hr 以上保った。

(b) 冷間圧延によって硬化する試料；溶態化処理後室温で 50% および 70% の冷間圧延を施した。

時効処理：上記の処理後 400°~550°C でその温度に応じた 1/6~1000 hr 真空中で加熱した後 空中冷却した。上記の熱処理、加工を施した後機械的試験、腐蝕試験および顕微鏡組織検査を行なった。

III. 実験結果およびその考察

1. 試料 A の実験結果

前報⁽¹²⁾⁽¹⁴⁾から、本鋼種では時効硬化をより有効に行なわせて高い機械的性質を得るためには、溶態化処理状態で

Fig. 2 Influence of austenitizing temperature on Ms temperature, structure, isolated carbide, hardness of 17-7 PH stainless steel containing 1.15% Al.

- (12) 佐藤, 古川: 本誌, **22**(1958), 253.
- (13) 佐藤, 古川: 本誌, **22**(1958), 604.
- (14) 佐藤, 古川: 本誌, **23**(1959), 281.
- (15) 佐藤, 古川: 本誌, **24**(1960), 96.
- (16) 佐藤, 古川: 本誌, **25**(1961), 23.
- (17) 佐藤, 古川: 本誌, **25**(1961), 475.

オーステナイト組織であるのをマルテンサイト組織にした方がよいことが明らかである。冷間圧延を施す場合は塑性

Fig. 3 The effects of austenitizing conditions and aging time at 450°C on the mechanical properties of 17-7 PH stainless steel containing 1.15% Al.

変形によつてマルテンサイトに変態し^{(18)~(22)}、その変態量は圧延温度と圧延率に支配されることが明らかであるが、溶態化処理後熱処理によつてマルテンサイト変態を行なわせる場合は適正なオーステナイト調整処理を施さなければならない。このためオーステナイト調整条件とMs点、生成するマルテンサイト量、残留するオーステナイトとフェライト量、オーステナイトへ未溶解のCr炭化物の組成と量、および得られる硬さの関係を求めた。Fig. 2はこの関係を示す。同図Aは試料Aを1050°C×0.5hr・水冷後700°~1000°Cに再加熱し、その温度に10min保持した後空冷した場合の示差熱膨張曲線(標準体: Ni棒)を求め、この線図から得たオーステナイト調整温度とMs点の関係を示す。Ms点は750°~825°Cからの空冷で高い値を示し、これ以上オーステナイト調整温度が上昇すると降下し1000°Cからの空冷でほぼ0°Cであつた。装

置の都合で0°C以下の実験はできなかった。同図Bは溶態化処理後700°~1000°Cで1hrオーステナイト調整した後0°Cの水中に急冷した試料のX線回折による、オーステナイト調整温度と組織の関係を示す。マルテンサイトの量は図AのMs点の変化と相対対応した変化を示している。使用したX線はFe-K α である。同図Cは図Bと同じ熱処理をした試料を電解分離し、電解残渣を抽出してその量および組成を調べた結果を示す。オーステナイト調整温度が高くなるにつれて抽出残渣は減少する。〈Cr〉すなわち残渣中のCr濃度は800°Cで最高値を示し、これ以上温度が上がると低下する。〈Cr〉×残渣量、すなわち残渣中のCr量は775°Cで最高値を示し、これ以上加熱温度が上がると減少する。この結果からオーステナイト調整温度が高くなるにつれて、オーステナイト中の合金濃度が高くなり、その結果Ms点が低下しマルテンサイト量が少なくなることがわかる。電解残渣の大部分は、X線回折の結果から、M₂₃C₆型の炭化物であることがわかつた。電解分離は10% HCl-アルコール溶液を用い、20 mA/cm²で48hr電解を行なつた。同図Dは溶態化処理後700°~1000°Cで1, 3および10hr真空加熱した後0°Cの水中に急冷した試料の硬さを示す。750°~825°Cで3hrのオーステナイト調整後水冷した試料が比較的高い硬さを示した。

以上の結果から溶態化処理後マルテンサイト化のためのオーステナイト調整条件として、750°~825°C×3hrを採用し、オーステナイト調整温度からの冷却条件が時効処理後の機械的性質におよぼす影響をみるため、半数を水中急

Fig. 4 Relation between aging conditions and the mechanical properties of 17-7 PH stainless steel containing 1.15% Al (1050°C×0.5hr AC, 775°C×3hr WQ).

- (18) F. K. Bloom, G. M. Goller and P. G. Mobus: Trans. ASM, **39**(1947), 843.
- (19) M. Cohen, S. A. Kulin and B. L. Averbach: Trans. ASM, **41**(1949), 270.
- (20) M. Cohen, S. G. Loris and B. L. Averbach: Trans.

ASM, **44**(1952), 746.

- (21) W. H. Golner and O. Zmeskal: Trans. ASM, **44**(1952), 1158.

- (22) M. Cohen, H. C. Fiedler and B. L. Averbach: Trans. ASM, **47**(1955), 267.

冷し、半数を空中冷却した。上記の前処理後所定の時効処理を施した試験片に対して機械的試験、腐蝕試験および顕微鏡組織検査を行ない、時効条件とこれらの関係をみた。これらの実験結果の一部をつぎに示す。

Fig. 3 は上記の溶態化処理、オーステナイト調整後、450°C で時効処理を施した試料の熱処理条件と機械的性質の関係を示す。各温度でオーステナイト調整した試料とも硬さ、引張強さ、耐力は 1 hr 時効で著しく上昇し、その後はゆるやかに上昇して 20 hr 時効で極大値を示した後、ゆるやかに低下した。1.15% Al を含有する本鋼のこの経過は、0.73% Al および 0.93% Al を含有する鋼種の経過にくらべて、短時間の時効処理で急速に硬化するが、極大値を示す時効時間は長い。825°C でオーステナイト調整した試料は、時効温度が低いいため全体的に低い値を示しているが、475°C 以上で時効処理を施した場合は、他の温度でオーステナイト調整した試料と同様の経過と値を示した。全体として、水冷試料が空冷試料より若干高い値を示しているが、オーステナイト調整温度によつては著しい差が認められない。

Fig. 4 は溶態化処理後 775°C × 3 hr オーステナイト調整後水冷し、その後 400~550°C で時効処理を施した試料の機械的性質と時効条件の関係を示す。他の時効硬化性合金の場合と同様に、時効温度が異なると硬化速度は異なり、またその温度によつて定まる時効時間で硬さ、引張強さおよび耐力が極大値を示す。これらの極大値は時効温度が比較的低い場合に高い。他のオーステナイト調整処理条件の試料についても同様の実験を行なつたが、その結果は本図とほぼ同様の経過を示した。Fig. 3 と同様に、各時効温度において、1.15% Al を含有する本鋼は 0.93% Al を

Fig. 5 Influence of aging on corrosion behavior of austenitized 17-7 PH stainless steel in 40 wt% nitric acid solution (boiling).

含有する鋼種に比較して、比較的時間の時効処理で急速に硬化しその後はゆるやかに硬化して極大値を示し、それ

以後ゆるやかに軟化するもので、巾広い時効処理を施しても優れた機械的性質が得られることがわかつた。

Fig. 6 Influence of aging on corrosion behavior of austenitized 17-7 PH stainless steel in 10 wt% sulfuric acid solution (30°C).

腐蝕試験には陽極分極性測定による森岡⁽²³⁾, Cihal⁽²⁴⁾の方法の他多くの試験方法⁽²⁵⁾⁽²⁶⁾があるが、著者は遠藤⁽²⁷⁾, 小柴⁽²⁸⁾, 小高⁽²⁹⁾らの方法を参考として行なつた。

Fig. 5 は Fig. 4 と同じ熱処理を施した試料の 40 wt% 硝酸水溶液(沸騰)に対する腐蝕試験結果を示す。実験は前報⁽¹⁶⁾と同じ方法で行なつた。この溶液に対しては、すべての試料が不働態化した。各時効温度で機械的性質が極大値を示す時効条件およびそれ以前の状態ではとくに優れた耐蝕性を示し、かつこの範囲においては試料の耐蝕性は時効条件によつてほとんど影響されない。これらの値は 18-8 不銹鋼についての小高の結果⁽²⁹⁾および 18-8 に 1% W を加えた小柴の結果⁽²⁸⁾とほぼ等しい値を示しており、本鋼が硝酸水溶液に対して優れた耐蝕性を有していることを示している。過時効状態では耐蝕性は若干低下した。

(23) 森岡, 崎山: 本誌, **16**(1952), 596, 599; **18**(1954), 643, 647; **19**(1955), 31, 438, 598, 732.

(24) V. Cihal and M. Prazak: JISI, **193**(1959), 360.

(25) 金属防蝕技術便覧, 147~166.

(26) 塚本: 工業材料, **5**(1957), 77.

(27) 遠藤, 板垣: 本誌, **B-14**(1950), No. 8, 32; **B-15**(1951), 90; **16**(1952), 614.

(28) 小柴, 田中, 稲田: 本誌, **17**(1953), 25.

(29) 小高: 本誌, **18**(1954), 396.

Fig. 6 は同じ熱処理を施した試料の 10 wt% 硫酸水溶液 (30°C) に対する腐蝕試験結果を示す。前報⁽¹⁶⁾と同じ方法で実験を行なった。硫酸水溶液の場合は、対硝酸水溶液の場合と異なり、時効温度が 500°C 以下の場合は、機械的性質が極大値を示す時効条件およびそれ以前の状態で、すべての試料が腐蝕液中に浸漬後 24~36 hr で不働態化した。過時効の試料は 48 hr までの浸漬では不働態化しなかった。しかし時効温度が 525°C 以上の場合は、時効条件に関係なく、すべての試料が不働態化しなかった。これは時効温度が高いため Cr 炭化物の析出が著しくなり^{(30)~(32)}、基質中の固溶 Cr 濃度が減少するためと思われる。この結果から、オーステナイト調整を行なって硬化した場合は、耐蝕性の点から 525°C 以上での時効処理は好ましくないことがわかった。

Fig. 7 は溶態化処理後 70% 冷間圧延を施し、その後 400~550°C で時効処理を施した試料の機械的性質と時効条件の関係を示す。Fig. 4 の場合と同様に、時効温度によって硬化速度は異なるが、硬さ、引張強さ、耐力は時効初期において急速に上昇し、その後ゆっくり上昇して時効温度に支配されるある時効時間で極大値を示した後、各値とも徐々に低下した。これらの極大値は時効温度が比較的低い場合に高い。伸びはこれと逆の経過を示した。

Fig. 8 は溶態化処理後 50% 冷間圧延を施し、その後 400~550°C で時効処理を施した試料の実験結果を示す。70% 圧延試料の結果と類似した経過を示したが、全体として硬さ、引張強さ、耐力が低く、伸びが多い。これは冷間圧延度が低いため、生成するマルテンサイト量が少なく、残留するオーステナイト量が多いためである。

Figs. 7, 8 から冷間圧延試料も、熱処理のみで硬化した試料と同様に、0.73% Al および 0.93% Al を含有する本鋼種⁽¹²⁾⁽¹⁵⁾に比較して、比較的短時間の時効処理で急速に硬化し、その後ゆるやかに硬化して極大値を示し、極大値を示した後の軟化がゆるやかであるので、幅広い時効処理を施しても優れた機械的性質が得られることがわかった。

Fig. 9 は溶態化処理後 70% 冷間圧延を施し、その後時効処理を施した試料の 40 wt% 硝酸水溶液 (沸騰) に対する腐蝕試験結果を示す。冷間圧延試料の場合は、高合金濃度

のオーステナイトが変態した高合金濃度のマルテンサイト基質であるためか、耐蝕性は非常に良い。本実験の範囲で

Fig. 7 Relation between aging conditions and the mechanical properties of 70% cold rolled 17-7 PH stainless steel containing 1.15% Al.

Fig. 8 Relation between aging conditions and the mechanical properties of 50% cold rolled 17-7 PH stainless steel containing 1.15% Al.

は、時効条件は耐蝕性にはほとんど影響をおよぼさず、過時効の試料も優れた耐蝕性を示した。前報⁽¹⁷⁾と同様に、冷間圧延度の高い試料が優れた耐蝕性を示し、18-8 不銹鋼についての小高⁽²⁹⁾の結果と比較しても (腐蝕条件が異なるので厳密の意味ではその値をただちに比較はできないが) すべての試料が、それに優る耐蝕性を示した。

Fig. 10 は同じ前処理を施した試料のその後の時効処理条件と、10 wt% 硫酸水溶液 (30°C) に対する腐蝕減量の関

(30) 佐藤, 西沢, 本田: 鉄と鋼, **41** (1955), 1188.

(31) 佐藤, 西沢, 大橋: 鉄と鋼, **42** (1956), 240.

(32) 佐藤, 西沢, 村井: 鉄と鋼, **43** (1957), 407.

係を示す。対硝酸水溶液試験の場合と同様に、優れた耐蝕性を示し、本実験範囲では、すべての試料が腐蝕液中に浸

Fig. 9 Influence of aging on corrosion behavior of 70% cold rolled 17-7 PH stainless steel in 40 wt% nitric acid solution (boiling).

Fig. 10 Influence of aging on corrosion behavior of 70% cold rolled 17-7 PH stainless steel in 10 wt% sulfuric acid solution (30°C).

漬後6~12 hr で不働態化した。Scharshu⁽³³⁾は 18-8 不銹鋼では冷間圧延度が大きくなると耐蝕性は低下すると報告しているが、本鋼ではかかる傾向は全く認められなかった。

時効処理による顕微鏡組織の変化は前報⁽¹⁴⁾⁽¹⁵⁾とはほとんど同様で、光学顕微鏡によれば、最大硬化を示す時効条件まではその組織にはほとんど変化が認められず、過時効試料において析出物の存在するのが認められた。

(33) C.A.Scharshu: The Book of Stainless Steels, (1935), 323.

2. 試料 B の実験結果

試料 A について行なつたと同様にオーステナイト調整条件と Ms 点、硬さの関係を求め、この結果を基とし、焼入硬化のためのオーステナイト調整として 775°C × 3 hr 真空加熱後 0°C の水中に急冷することとした。

Fig. 11 は溶態化処理後 775°C × 3 hr 加熱後 0°C の水中に急冷し、その後 425~550°C で時効処理を施した試料の機械的性質と時効条件の関係を示す。時効温度によって硬化速度は異なるが硬さ、引張強さ、および耐力は、試料 A の実験結果と同様に、時効初期に急速に上昇し、その後ゆるやかに上昇してそれぞれの時効温度によって定まる時効時間で極大値を示した後徐々に低下した。

Fig. 12 は溶態化処理後 70% 冷間圧延を行ない、そ

Fig. 11 Relation between aging conditions and the mechanical properties of austenitized 17-7 PH stainless steel containing 1.54% Al.

Fig. 12 Relation between aging conditions and the mechanical properties of 70% cold rolled 17-7 PH stainless steel containing 1.54% Al.

の後425°~550°Cで時効処理を施した試料の実験結果を示す。Fig.11と同様の傾向を示しているが、冷間圧延度が高

δ -フェライトと僅かな未溶解 Cr 炭化物が認められる。この試料を775°C×1.5 hrのオーステナイト調整後0°Cの水

(A) 1050°C×0.5 hr·WQ

(B) 1050°C×0.5 hr·WQ
775°C×3 hr·WQ
450°C×25 hr·AC

(C) 1050°C×0.5 hr·WQ
775°C×3 hr·WQ
475°C, $\sigma=45 \text{ kg/mm}^2$
×8 hr tensile creep
475°C×20 hr·AC

Photo. 1 Micro-structure of 17-7 PH stainless steel. (×10000)

くマルテンサイト量が多いため、全体として硬さ、引張強さ、耐力が高く伸びが少ない。

Figs.11, 12からオーステナイト調整あるいは冷間圧延によつて硬化した試料とも、Al含有量の少ない本鋼種に比較して、時効初期の硬化が速く、最大硬化を示すまでに必要な時効時間が長いことがわかる。このことは巾広い時効処理によつても優れた機械的性質が得られることを表わしている。

中に急冷した試料の組織はマルテンサイト地に若干の残留オーステナイトと δ -フェライトが混在し、粒界にオーステナイト調整によつて生じたCr炭化物が少量認められた。上記の処理後450°C×25 hr時効処理を施した試料の組織を同図Bに示す。この時効温度で最高硬さを示した試料の組織であるが、マルテンサイト地に超微粒の析出物が認められる。同図Cはオーステナイト調整処理後475°Cで、45 kg/mm²の引張応力をかけて8 hr クリープ時効を行な

Fig.13 Relation between Al content and aging time required to obtain the peak hardness at each aging temperature.

Photo.1 は本鋼の顕微鏡組織を示す。同図Aは溶態化処理状態の組織を示す。オーステナイト地に約10%内外の

Fig.14 Relation between Al content and K.

い、その後さらに475°C×20 hr時効処理を施した試料の組織を示す。著しい過時効の試料であるので、析出物はBに比較してかなり多いが、各粒の大きさについては著しい成長は認められない。これらの写真から、本鋼では遷移化合物生成の末期から析出の初期状態で最高硬さを示すこ

と、および過時効になつても析出物の凝集、成長が遅いことが考えられる。このことから、最高硬さを示した後の軟化がゆるやかであることがうなづける。

Fig. 13 は前報⁽¹²⁾⁽¹⁴⁾⁽¹⁵⁾ および本報の結果を総合して 0.73~1.54% Al を含有する本鋼の Al 含有量、時効温度および各時効温度で最高硬さを示すのに必要な時効時間の関係を示す。実験点が少ないので断定するのには多少の危惧があるが、各線がほとんど平行線であるので、これを平行線とみなして実験式を求めるとつぎの式が得られる。(なおこれらの各線が直線であるか否か、また平行であるか否かについては、本鋼の時効硬化機構の研究と併せて検討中である。)

$$t = K \cdot 10^{10438/T} \text{ または } t = K \cdot e^{47700/RT} \quad (1)$$

ただし T : 時効温度(°K), t : 極大値を示す時効時間(hr), K : 常数, R : ガス常数

K と Al 含有量の関係を求めて図示すると **Fig. 14** のごとくである。両対数グラフで K と Al% の関係はほぼ直線関係にあるので、これを直線関係とみなして関係式を求めるとつぎの式が得られる。

$$K = 5.144 \times 10^{-14} \times (\text{Al} \%)^{1.476} \quad (2)$$

(1) と (2) から各時効温度で硬さ、強さの極大値を得るために必要な時効時間を示す実験式として次式が得られる。

$$\left. \begin{aligned} t &= 5.144 \times (\text{Al} \%)^{1.476} \times 10^{10438/T-14} \\ \text{または } t &= 5.144 \times 10^{-14} \times (\text{Al} \%)^{1.476} \times e^{47700/RT} \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

この実験式の関係は、筆者の結果は勿論、Carwile, Rosenberg⁽⁷⁾, Gluck, Freeman⁽⁸⁾ らの実験結果ともよく合致した。しかしながら、機械的性質と耐蝕性を総合して考慮した場合、この実験式で得られる時効時間の約半分が適当と考える。なお Fig. 13 および式(1)からこの鋼の時効反応の活性化エネルギーとして 47700 cal/mol が得られた。三島, 橋口, 木村⁽³⁴⁾ は Alnico-5 (8% Al, 14% Ni, 24% Co, 3% Cu, 51% Fe) の時効反応の活性化エネルギーを 46000 ± 2000 cal/mol と報告しているが、この値とほとんど等しい。本鋼の時効硬化機構については Underwood, Manning⁽³⁵⁾ らが一考察を発表しており、著者も別に報告するが、本鋼の時効反応の活性化エネルギーと Alnico-5 の時効反応…主として Ni と Al の関与する化合物の生成と考えられているが…の活性化エネルギーがほぼ等しいことは興味深い。

IV. 結 言

1.15% Al および 1.54% Al を含有する 17-7 PH 不銹鋼について、オーステナイト調整条件、冷間圧延度、およびその後の時効条件と機械的性質、耐蝕性、顕微鏡組織の関

係を研究し、あわせて最適時効条件におよぼす Al 含有量の影響について検討した。得られた結果を要約するとつぎのごとくである。

(1) 1.15~1.54% Al を含有する本鋼種は 1050°C で溶態化処理後 750°~1000°C でオーステナイト調整を行なつて空冷すると Ms 点は 95°~0°C の範囲にある。750°~825°C でオーステナイト調整後水冷または空冷してマルテンサイトを生ぜしめ硬化した後、400°~550°C で適正な時効処理を施すとさらに硬化して機械的性質は著しく高くなる。

(2) オーステナイト調整温度が 750°~825°C の範囲においては、時効処理後の機械的性質に著しい差違は認められないが、全体として水冷した試料の機械的性質が若干高い。

(3) 溶態化処理後冷間圧延を行なつて硬化した後、適正な時効処理を施すとさらに硬化して優れた機械的性質を示す。この場合、得られる機械的性質は時効条件および冷間圧延度に支配される。

(4) 時効反応の進行に伴う機械的性質の変化については、0.73~1.54% Al の範囲では、Al 含有量の比較的高い試料は時効初期の硬化が急速でその後ゆるやかに硬化して極大値を示す。極大値を示す所要時間は Al 含有量の多い試料が長い。このため 1.15~1.5% Al の比較的高い Al 含有量の高い試料は広い時効処理によつても高い機械的性質が得られる。

(5) 最良の機械的性質を得る時効条件と Al 含有量の関係についてつぎの実験式が得られた。

$$t = 5.144 \times (\text{Al} \%)^{1.476} \times 10^{10438/T-14}$$

(6) 溶態化処理後 750°~825°C でオーステナイト調整した試料は、40 wt% 硝酸水溶液 (沸騰) に対して全体的に優れた耐蝕性を示し、全試料が不働態化した。とくに機械的性質が極大値を示す時効条件およびそれ以前の状態で優れた耐蝕性を示した。10 wt% 硫酸水溶液 (30°C) に対しては、時効温度が 500°C 以下の場合には機械的性質が極大値を示す時効条件およびそれ以前の状態では不働態化し良好な耐蝕性を示したが、これ以上長時間の時効処理試料および 525°C 以上で時効処理を施した試料は不働態化しなかつた。

(7) 溶態化処理後冷間圧延によつて硬化した試料は、40 wt% 硝酸水溶液 (沸騰) および 10 wt% 硫酸水溶液 (30°C) に対して、すべての試料が不働態化し優れた耐蝕性を示した。

本研究は名古屋工業大学学長佐藤知雄博士の御指導によつて行なつた。深く感謝する。なお本研究を遂行するにあたり、多くの便宜と助言を与えられた東北大学金属材料工学科教授金子秀夫博士、助教授西沢泰二博士に厚く感謝する。

(34) 三島, 橋口, 木村: 本誌, **21** (1957), 187.

(35) E.E. Underwood, A.E. Austin and G.K. Manning: JISI, **200** (1962), 644.