

# 9%Ni 鋼の諸性質におよぼす 2, 3 の合金元素の影響\*

住友金属工業, 鋼管製造所

川野 和 男・藤 原 洸

The Influence of Some Alloying Elements on the Properties of 9% Ni Steel

Kazuo KAWANO and Kiyoshi FUJIWARA

## 1. 緒 言

各種工業の発達とともに低温工業も盛んになり、各種の低温材料が開発されているが、最近液体メタンガスや液体空気などの製造、輸送、貯蔵用材料として 9% Ni 鋼が注目され、数多くの研究がなされている<sup>1)~13)</sup>。

われわれも前から 9% Ni 鋼に関して色々実験を行なっているが、今回合金元素の影響の研究の一環として、Ti, Mo, Cr の影響について若干の実験を行なつたので報告する。

## 2. 供試材および実験方法

供試材は高周波炉で 50 kg 鋼塊を溶製して鍛伸した 17 mm φ 丸棒と鍛伸および圧延した 100 mmw×10 mm t の板を用いた。Table 1 に化学組成を示す。基本成分としては ASTM-A333 Grade 8 を満足するものとし、Ni は 9% を目標とした。No 1 は比較材とした基本成分であり、Al で結晶粒の微細化を行なっている。No 2 は Al と併用して用いられる場合がある微量 Ti の影響

NT: Normalized (900°C)-Tempered (570°C)  
 NNT: Double normalized (900°C+790°C)-Tempered (570°C)  
 QT: Quench (810°C)-Tempered (570°C)

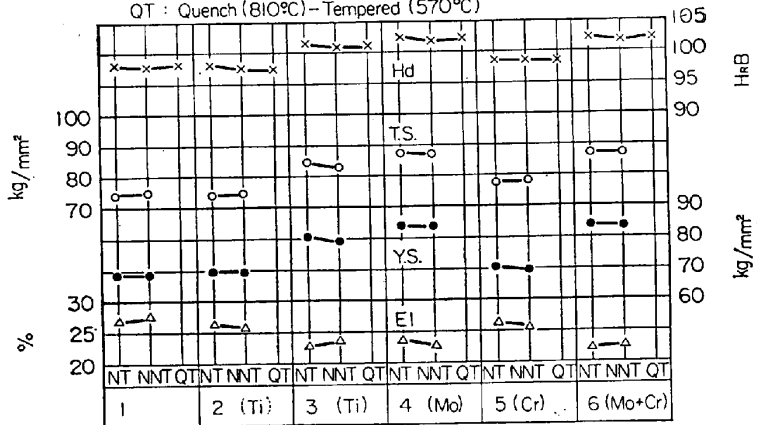


Fig. 1. Effect of heat treatment on the tensile properties and hardness (tensile specimen: GL=35. 10φ).

Table 1. Chemical composition of specimens (%).

No	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Mo	Cr	Ti	sol. Al
1	0.07	0.30	0.58	0.012	0.015	0.07	8.83	—	—	—	0.039
2	0.07	0.31	0.58	0.010	0.015	0.06	9.07	—	—	0.009	0.040
3	0.08	0.27	0.58	0.011	0.010	0.06	9.11	—	—	0.038	—
4	0.07	0.33	0.60	0.010	0.010	0.05	8.95	0.21	—	—	0.040
5	0.07	0.23	0.59	0.010	0.010	0.05	9.11	—	0.50	—	0.040
6	0.07	0.22	0.57	0.010	0.010	0.05	9.07	0.21	0.52	—	0.042
ASTM-A333 Grade 8	≤0.13	0.13~0.32	≤0.90	≤0.045	≤0.045	—	8.40~9.60	—	—	—	—

\* 第73回講演大会にて発表 講演番号 212 昭和42年5月10日受付

No 3 は Al の代わりに Ti を用いた場合の影響を調べるものである。No 4 は Mo, No 5 は Cr, No 6 は Mo と Cr の同時添加の影響を調査せんとするものである。

丸棒では変態点の測定および各種熱処理後の機械的性質、板では溶接性を検討した。

## 3. 実験結果

### 3.1 変態点測定結果

17 mm φ 丸棒から 4 mm φ×50 mm l 試験片を作成して行なつた。加熱速度は室温から 500°C までを 10°C/min, 500°C から 800°C までを 2°C/min とした。基本成分の No 1 は Ac<sub>1</sub> が 580°C Ac<sub>3</sub> が 728°C であつた。No 2, 3 はほとんど同一であつたが No 4 の Mo 添加材は 10°C 程度 Ac<sub>1</sub> が上昇し, No 5 の Cr 添加材では 35°C 程度低下した。Mo と Cr を添加した No 6 は Mo と Cr の影響が重複して約 10°C 程度 Ac<sub>1</sub> が低下した。Ac<sub>3</sub> も Mo 添加により上昇し, Cr の添加により低下したがその変化は Ac<sub>1</sub> に比較するときわめて少ない。

### 3.2 焼準-焼戻し, 二重焼準-焼戻しおよび焼入れ-焼戻しの比較

ASTM や ASME 規格では二重焼準後または焼入れ後焼戻しを行なうことになつてはいるが、焼準-焼戻しでも同様であるという報告もある<sup>2)</sup>ので、まず最初にこれら 3 者の熱処理の比較を行なつた。焼戻し温度は衝撃値が最も良好になる<sup>5)</sup>と思える 570°C で行なつた。結果を Fig. 1, 2 に示す。供試材はいずれも 17 mm φ 丸棒である。カタサ、引張性質 (焼入れ-焼戻しの場合には行なっていない。), 20°C および -196°C の衝撃値のいずれも 3 者の熱処理条件による差はなかつた。それゆえ今後の試験はすべて焼準-焼戻しのみについて行なつた。合金元素の影響をみると、No 2 の微量 Ti 添加のものは基本成分とほとんど変化せずまた No 3 の Al の代わりに Ti を用いたものは強度は若干高いが、20°C および -196°C の衝撃値が低下している。Mo 添加の No 4 は強度が上昇し、20°C の衝撃値が低下する。しかし、-196°C の衝撃値は比較的的良好である。Cr 添加の No 5 は強度は余り変化せず、-196°C の衝撃値が悪化している。Mo, Cr 同時添加の No 6 は強度上昇が認められるとともに -196°C の衝撃値が良好になつてい

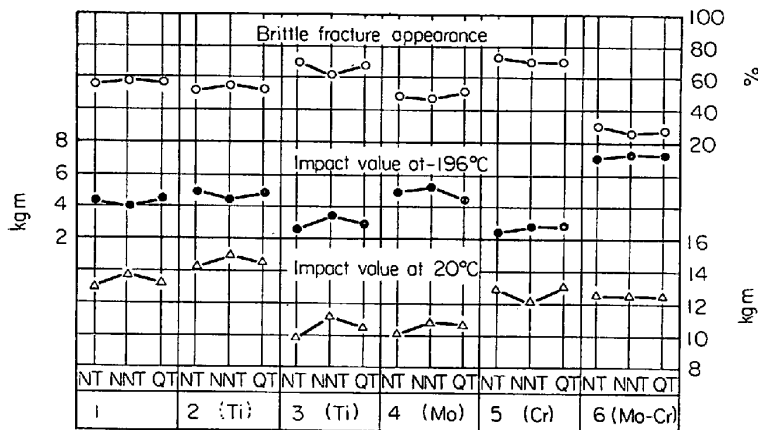


Fig. 2. Effect of heat treatment on the impact properties (specimen : 7.5×10, 2V).

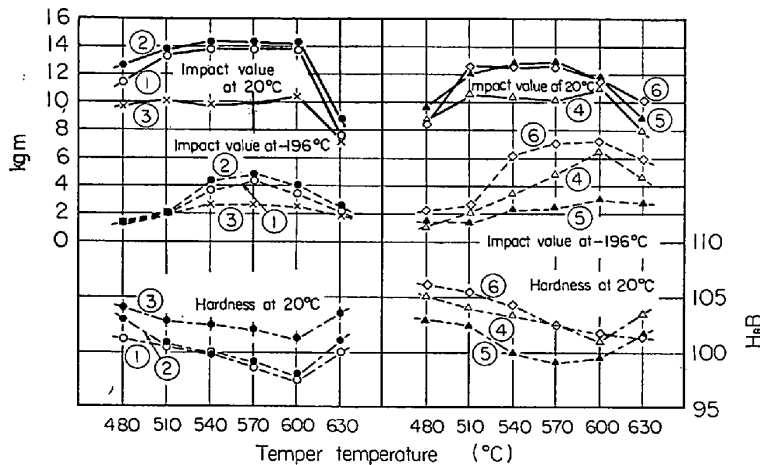


Fig. 3. Effect of temper temperature on the impact value and hardness (specimen : 7.5×10, 2V).

3.3 焼戻し温度の影響

17 mm φ 丸棒について 900°C で焼準後、480~630°C 間で焼戻し温度を変化させた場合のカタサおよび 20°C と -196°C の衝撃値を Fig. 3 に示す。いずれも焼戻し温度の上昇につれてカタサが低下するが 630°C になるとむしろほとんどが上昇しており、従来の研究<sup>2)10)</sup>と一致している。-196°C の衝撃値は各材質間でかなり差があり、No 1, 2 は 540~600°C 間で良好になるが Ti 入りの No 3, Cr 入りの No 5 はいずれの焼戻し温度でも低い。Mo 入りの No 4 は 600°C で最も良好になる。Mo と Cr 同時添加の No 6 は 540~630°C で他よりかなり高くすぶる良好である。また Mo が含有されている No 4 と No 6 は 630°C まで焼戻し温度が上昇しても他のもの程衝撃値が低下しないことも一つの特長であろう。

3.4 焼戻し後の冷却速度の影響

17 mm φ 丸棒の焼準材について 570°C の焼戻し温度から 270°C までの冷却速度を変化させて、カタサおよび -196°C の衝撃値を調査した結果を Fig. 4 に示す。基本成分の No 1 は従来より報告<sup>3)5)</sup>されているように冷却速度の影響を著しく受け、冷却速度が遅くなるにつれて衝撃値が低下して 25°C/hr では放冷(Ac)の 1/3 程

度になる。No 2, No 3 も同様である。Cr 添加の No 5 は元素が低い上にさらに冷却速度の影響を受けて遅い冷却速度ではきわめて衝撃値が悪化する。Mo 添加の No 4 は冷却速度の影響が少なく、25°C/hr でもかなり高い値を示している。Mo, Cr 同時添加の No 6 は Cr が添加されているため、冷却速度が遅くなるにつれて低下するが、元の衝撃値が高いため 25°C/hr の冷却速度でもかなり高い衝撃値を有する。Cr 単独添加材の衝撃値が悪く、Mo 添加材が以上のように良好なのは低合金鋼でよく認められている<sup>14)</sup>ように、Cr が焼戻し脆性を悪化し、Mo が防止するためと考えられる。カタサは冷却速度による差がないようである。

3.5 溶接性

Incoweld A の溶接棒を用いて最高カタサ試験および溶接継手性能試験を行なった。最高カタサ試験結果を Fig. 5 に示すが、合金元素の種類いかにかわらずほぼピッカース 370 程度であった。この点 9% Ni 鋼は低合金鋼とかなり異なることがわかった。9% Ni 鋼の組織がマルテンサイト、ベイナイトおよび残留オーステナイトなどからなる複雑な組織のためと考えられる。溶接継手の引張試験ではすべて溶着部で破断するため差は認められないが熱影響部のカタサを測定するとやはり Mo 添加の No 4 と Mo, Cr 同時添加の No 6 が他より高い。溶着部にノッチを切った衝撃試験では当然のことながらいずれも差がなかったが、熱影響部ノッチのものでは母材の性質とほぼ同じ傾向があり、No 3, No 5 が低く、No 4 と No 6 が良好であった。溶接作業自体はこれら合金元素が添加されたために特に変化する

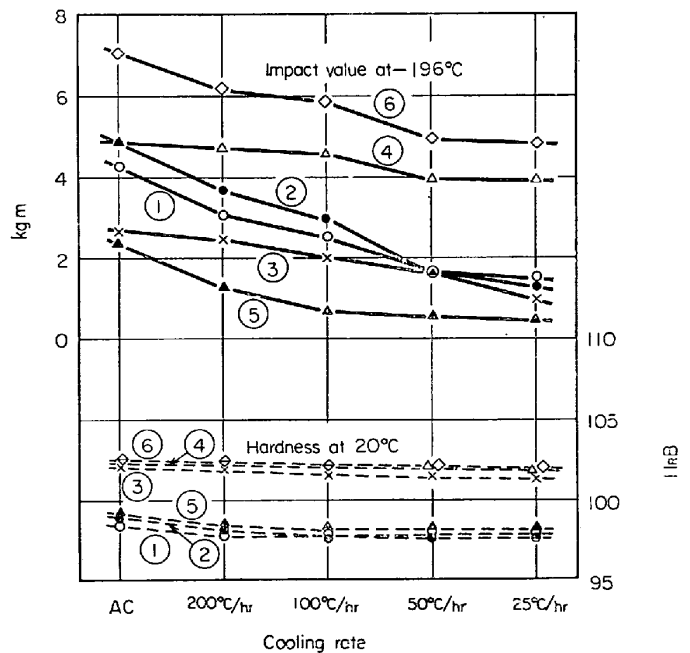


Fig. 4. Effect of cooling rate from temper temperature (570°C) on the impact value at -196°C and hardness at 20°C.

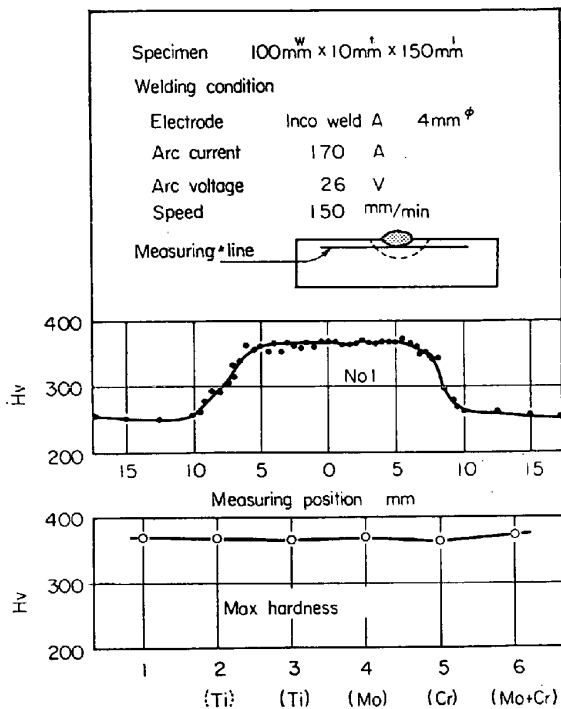


Fig. 5. Results of JIS max hardness test.

ことはなく基本成分と同等であった。

#### 4. 考 察

以上の結果より Mo 単独添加および Cr との複合添加により 9% Ni 鋼の低温靱性が良好になること、特に質量が大なる程効果が著しいことが判明した。Mo 添加により質量の大なるものが低温靱性の良好になることは前述したように焼戻し脆化の防止という観点から十分に推定されることであるが、Cr との複合添加によりさらに良好になる原因についてはよくわからない。従来の研究者より指摘されている<sup>9)5)10)11)</sup> ように低温靱性に重要な影響をおよぼすと考えられている安定な残留オーステナイトに Mo や Cr が何らかの影響を与えるためかも知れない。この Mo, Cr の複合添加による改善機構については今後十分に検討の必要があるものと考えられる。

#### 5. 結 言

9% Ni 鋼におよぼす Ti, Cr, Mo の影響について調査し次のことが明らかとなった。

- (1) Mo および Mo+Cr の添加は強度を高めるとともに低温靱性を良好にする。特に質量が大なる時効果が著しい。
- (2) Cr の添加は低温靱性を悪化する。Cr 単独の混入は絶対にさけるべきである。
- (3) Al の代わりに Ti を用いるのは望ましくない。
- (4) 最高カタサはこれら合金元素の若干の添加によつてほとんど変化しない。

なお、Mo, Mo+Cr の適正添加量および添加による改善の機構についてはさらに検討の必要がある。

#### 文 献

- 1) G. R. BROPHY and A. J. MILLER: Trans. Amer. Soc. Metals, 41 (1949), p. 1185
- 2) 木月, 小早川, 白石: 鉄と鋼, 46 (1960), p. 1329, 鉄と鋼, 47 (1961), p. 1462

- 3) D. HARDWICK: Iron and Steel, 34 (1961), p. 414
- 4) M. KRON et al.: Mém. Scient., Rev. Met., L VIII N°12 (1961), p. 901
- 5) C. W. MARSCHALL et al.: Trans. Amer. Soc. Metals, 55 (1962), p. 131
- 6) C. ROGUES and J. DOLLET: Rev. Met., (1963), p. 60
- 7) 瀬川, 長崎, 他: 鉄と鋼, 49 (1963), p. 914
- 8) 宮野, 進藤: 鉄と鋼, 49 (1963), p. 1585
- 9) 鈴木, 藤田: 鉄と鋼, 50 (1964), p. 1957
- 10) 美馬, 高橋, 山根: 鉄と鋼, 51 (1965), p. 2133
- 11) 大岡, 杉野: 日本金属学会誌, 30 (1966), p. 434
- 12) 大岡, 三村, 他: 日本金属学会誌, 30 (1966), p. 442
- 13) 堀田, 池田, 他: 高圧力, 4 (1966), p. 1
- 14) 門間: 鋼の焼戻脆性, 日本金属学会, (1954)

### 窒化ノッチ静的曲げ試験より求めた Ni-Mo-V 鋼の破壊靱性の温度による影響および標準 V シャルピー衝撃遷移温度との関係\*

(鋼材の脆性破壊発生に関する研究—II)

日立日立研究所

佐々木良一・正岡 功

日立勝田

工博 島田隆介

Effect of Temperature on Fracture Toughness determined by Statical Bending Tests of Nitrided Notch Specimens and Relation with Standard V Charpy Impact Transition Temperature of Ni-Mo-V Steel

(Studies on brittle fracture initiation of steels—II)

Ryōichi SASAKI, Isao MASAOKA and Dr. Takasuke SHIMADA

#### 1. 緒 言

鋼の脆性破壊発生 (伝播開始) に関する研究として、前報<sup>1)</sup>で窒化ノッチをつけた 20 mm 角以上の静的切欠曲げ試験を実施することにより、Griffith-Irwin 理論を満足する破壊靱性が求められることを示した。本報告は求めた破壊靱性の温度による影響および V ノッチシャルピー衝撃遷移曲線との関連について検討した。

#### 2. 試料および実験方法

実験に用いた試料は前報<sup>1)</sup>と同一のもので、その化学成分は Table 1 に示す。また実験方法も前報<sup>1)</sup>と同様な方法で行なった。

破壊靱性の計算は前報と同じく WUNDT<sup>2)3)</sup>らの方法によつて曲げ試験時の脆性破断における公称応力  $\sigma_n$  と試験片寸法  $c, d$  から求めた。すなわち破壊靱性を示すパラメータである critical stress intensity factor  $K_{IC}$  お

\* 第73回講演大会にて発表 講演番号 248 昭和42年5月26日受付