

1) 熱処理の効果

焼入-焼戻, 焼準-焼戻の熱処理を行なった LC-B, LC-1, LC-2, LC-3 の材質につきその影響を見ると, いずれの場合も焼入-焼戻処理を行なった方がはるかに優れた衝撃値を示している。

2) ノッチの形状

ノッチ形状により各材質共, 衝撃値は相当変わり, 2 mm U ノッチが断然 2 mm V ノッチより優れている。

然し, 9% Ni 鋼に関してはノッチによる差は顕著でない。

3) 材質

材質の点で特に顕著な傾向を示しているのは 18-8 鋼で -180°C でもそれほど衝撃値は低下していない。

一方 9% Ni 鋼もその値はよくないが, 温度低下による衝撃値の減少割合は非常に少ない。

高マンガン鋼は -60°C までは, かなりよい値を示している。

Si Mn 1B は -40°C 程度までは Ni, Mo を含有する LC-1, LC-2 などよりもむしろよい傾向を示している。

669.1524-194.57:669.112.227.343

1621.785.9

(142) フェライト系ニッケル鋼における  
残留オーステナイトの挙動について

金属材料技術研究所

工博 鈴木 正敏・○藤田 充苗

On the Behaviours of Retained Austenite  
of Ferritic Nickel Steels. PP1957-1959

Dr. Masatosi Suzuki and Mitutane Fujita

I. 緒 言

低温強靱鋼の一種である 9% Ni 鋼はその特性を十分に発揮するためには極めて厳密な熱処理を必要とするとされている。最近これは最終処理としての焼戻しに際して生ずるオーステナイトの量およびそれが低温にまで冷却された際の安定性が, その処理温度および時間によつて大きく変化しそれがこの鋼の低温靱性に影響をおよぼすためであるとされて関心を集めてきたが, その詳しい機構についてはまだ明らかでない<sup>1)~4)</sup>。

かかるオーステナイトの発生, その安定性その他の挙動に対して検討を加えるための始めの段階として, Ni 9% を中心としてその含有量を変化した場合のオーステ

ナイトの発生量, 低温での安定性を求めると共に硬度, 衝撃吸収エネルギーなどと対比させた。

II. 供 試 材

供試材は市販の S10C 鋼に電解 Ni を 0.5%~12% まで 8 種類配合したものを, 塩基性 100kg 高周波炉で 100kg 溶解し, Al 脱酸を行なったのち 50kg 鋼塊 2 本に鑄込み, 1150°C 2 hr 保持したのち 55mm 角に鍛造し, 圧延で 20mm φ および 10mm φ の丸棒を成形し, 各種試験の試料とした。供試材の分析値を Table 1 に示す。

これらの全試料を用いてそれらの Ac<sub>1</sub> 点を求めると共に, 9% Ni を中心とする D-6~D-8 を用いて, その残留オーステナイト量の定量および, その変化にともなう 2, 3 の機械的性質の変化を求めた。

III. 実験方法および結果

(1) Ac<sub>1</sub> 点の決定

BROPHY および MILLER<sup>1)</sup> は Ni 鋼の Ac<sub>1</sub> 点についてその熱膨張曲線が通常の形の Ac<sub>1</sub> 変化を示す温度(いわゆる Conventional Ac<sub>1</sub>) よりも低い温度でその直線性にズレを生ずることを認め, そのズレを生じ始める点を true Ac<sub>1</sub> であると定義した。

そこでまず前記全試料に対してこれらの変態点の変化を求めするために, 熱膨張計によつて実験を行なった。試料は 900°C で均一化焼準を行なった 10mm φ の丸棒を, 外径 5 mm φ 長さ 100mm に切りだし, 100°C/hr の速度で加熱して, その熱膨張曲線を差動変圧器を通して X-Y レコーダーに自記録させた。その結果を示したものが Fig. 1 であり, これによれば D-6~D-8 はこの両 Ac<sub>1</sub> 点間の温度差が, 十分に実験を行ないうる大きさを持つていることが認められたので, これら 3 つの試料に対し各温度での熱処理を行なつてその残留オーステナイトの定量その他を行なった。これらの実験を行なった温度は Fig. 1 の中に合せ示したごとく, 約 25°C の間隔で true Ac<sub>1</sub> よりも低い所から conventional Ac<sub>1</sub> よりも高い所におよんでいる。

(2) オーステナイトの定量

D-6~D-8 の試料を 10×10×15mm の大きさに切断し, 900°C 均一化焼準および細粒化の処理を行なった後, Fig. 1 に示したような温度で種々の時間保持した後, 空冷または水焼入の熱処理を行ない, 顕微鏡, 硬度測定および残留オーステナイト量の測定を行なった。

残留オーステナイトの定量は X 線ディフラクトメーターによる積分強度法<sup>5)</sup> を用いて行なった。回折強度は次の式で表わされる。

Table 1. Chemical compositions.

Specimens mark	C	Si	Mn	P	S	Ni	Sol. Al	Insol. Al	Sol. N	Insol. N
D-1	0.10	0.15	0.40	0.014	0.022	0.55	0.036	0.016	0.0090	0.0002
D-2	0.10	0.16	0.38	0.014	0.022	1.03	0.022	0.017	0.0091	0.0002
D-3	0.10	0.22	0.40	0.014	0.022	2.02	0.028	0.015	0.0090	0.0011
D-4	0.10	0.18	0.44	0.014	0.019	2.98	0.034	0.010	0.0096	0.0007
D-5	0.10	0.17	0.41	0.013	0.023	4.82	0.031	0.008	0.0089	0.0002
D-6	0.10	0.17	0.39	0.012	0.023	6.90	0.041	0.014	0.0083	0.0002
D-7	0.10	0.17	0.39	0.012	0.022	8.81	0.032	0.015	0.0085	0.0002
D-8	0.10	0.17	0.38	0.012	0.020	11.71	0.009	0.009	0.0082	0.0002

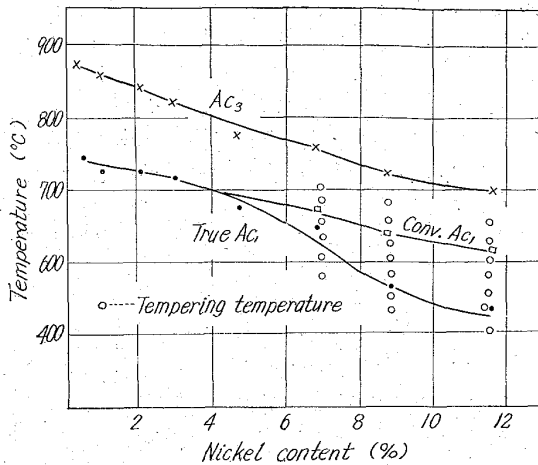


Fig. 1. Effect of Nickel content on true  $Ac_1$ , conventional  $Ac_1$  and  $Ac_3$  temperature.

$$I = K_2 \frac{1}{v^2} \left\{ |F|^2 p \left( \frac{1 + \cos^2 2\theta}{\sin^2 \theta \cos \theta} \right) \right\} \left( \frac{e^{-2M}}{2\mu} \right) \dots (1)$$

$$= \frac{K_2 R}{2\mu} \dots (1)$$

ここに、 $K_2$  回折物質の種類や量に無関係な定数  
 $R$  は  $\theta$ , ( $hkl$ ), 物質の種類に依存する定数  
 $\mu$  は線吸収係数  
 定数  $R$  を決定する単位格子の体積  $v$ , 構造因子  $F$ , 多重度因子  $m$ , Lorentz 因子  $(1 + \cos^2 2\theta / \sin^2 \theta \cos \theta)$ , 温度因子  $e^{-2M}$  を  $\alpha(110)$  および  $\gamma(111)$  について計算し  $R_{\alpha(110)}$  と  $R_{\gamma(111)}$  の比を求めると

$$\frac{R_{\alpha(110)}}{R_{\gamma(111)}} = 1.37 \dots (2)$$

したがって  $\alpha(110)$ ,  $\gamma(111)$  の測定積分強度  $I_{\alpha(110)}$ ,  $I_{\gamma(111)}$  と残留オーステナイト量  $\gamma(\%)$  との関係は (3) 式のごとくなる。

$$\frac{\gamma}{100 - \gamma} = 1.37 \frac{I_{\gamma}}{I_{\alpha}} \dots (3)$$

積分強度の測定はディフラクトメーターにより  $CoK_{\alpha}$  線を使用し電圧 30 kV 電流 7mA の条件で、Fixed count 法および point by point 法により求めた。結果の代表例を Fig. 2, Fig. 3 に示す。Fig. 1 に示した conventional  $Ac_1$  点以上の温度すなわちオーステナイト単相と考えられる温度範囲に焼戻すと、その際のオーステナイトは不安定で残留オーステナイトはこの焼戻しをする前の状態とほとんど変わらない。conventional  $Ac_1$  点直下の温度に焼戻すと、残留オーステナイト量は短時間で最高に達し時間が長くなるにしたがって逆に減少していく。すなわち時間の増加と共に焼戻しによつて発生したオーステナイトの安定性は、著しく悪化する。また conventional  $Ac_1$  点より 30~40°C 低い温度で焼戻しをおこなえば、残留オーステナイト量の割合は前の場合に比較してかなり、ゆるやかとなり、かなりの期間にわたつて増加する傾向を示す。しかしこの場合も液体  $N_2$  の温度では焼戻し時間が長くなるほど、不安定となる傾向が明らかに認められる。処理温度を true  $Ac_1$  点直上にとると時間とともに残留オーステナイトはゆるやかに増加し、液体  $N_2$  温度に冷却してもその量は常温の場合にくらべてそれほど大きな変化を示さない。true  $Ac_1$

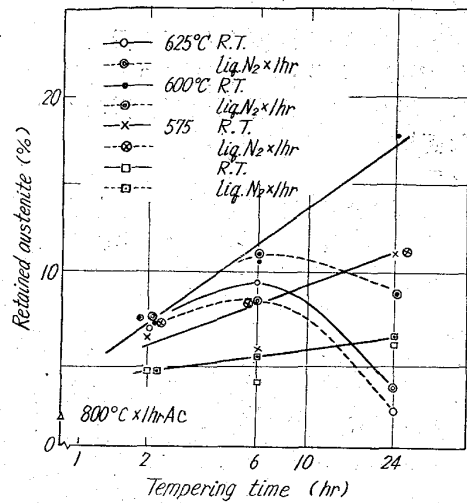


Fig. 2. Effect of tempering time and temperature on the austenite content of D-7 Ni steel at room temperature and  $-196^{\circ}C$ .

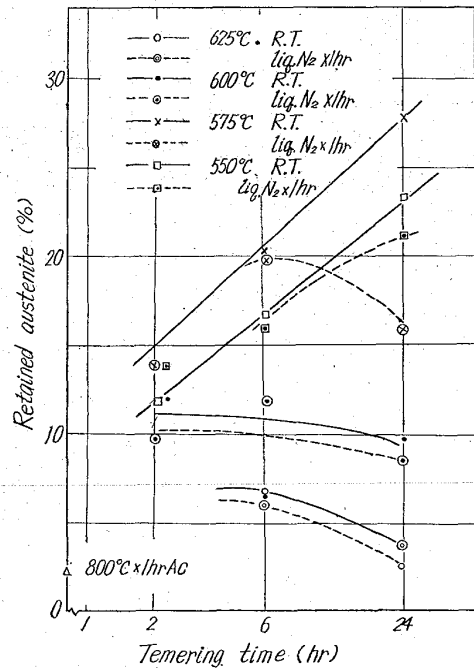


Fig. 3. Effect of tempering time and temperature on the austenite content of D-8 Ni steel at room temperature and  $-196^{\circ}C$ .

点以下の温度での焼戻しでは、残留オーステナイトは、当然のことながら変化は認められない。true  $Ac_1$  および conventional  $Ac_1$  点と残留オーステナイトの間のこれらの関係は、Ni 量が増加するにしたがって顕著に現われるように思われる。

(3) 衝撃値および硬度測定

各種熱処理を行なつたシャルピー V ノッチ衝撃試験片 (JIS4 号) を  $-196^{\circ}C$  (液体  $N_2$  中) に 1 時間保持した後試験を行なつた。Fig. 4 に  $900^{\circ}C \times 1$  hr 空冷の後、 $800^{\circ}C \times 1$  hr 空冷および水冷したものを、さらに 2 時間各温度で焼戻して後、空冷の熱処理を行なつた結果を示した。これより Ni の増加にしたがって最高の衝撃値を示す温度は低下し、これは true  $Ac_1$  点  $Ni$  の

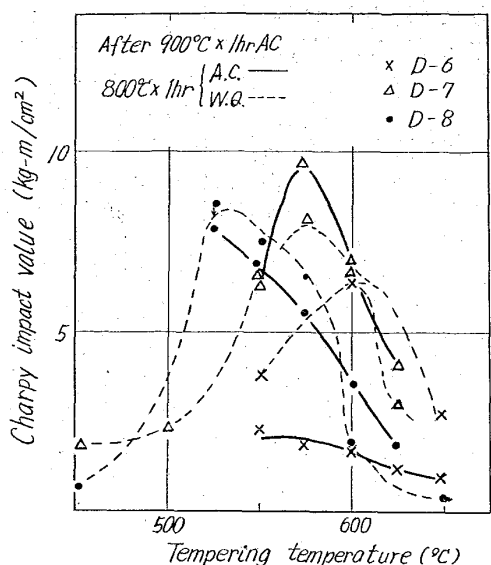


Fig. 4. Effect of tempering temperature and cooling rate on Charpy impact value at  $-196^{\circ}\text{C}$ .

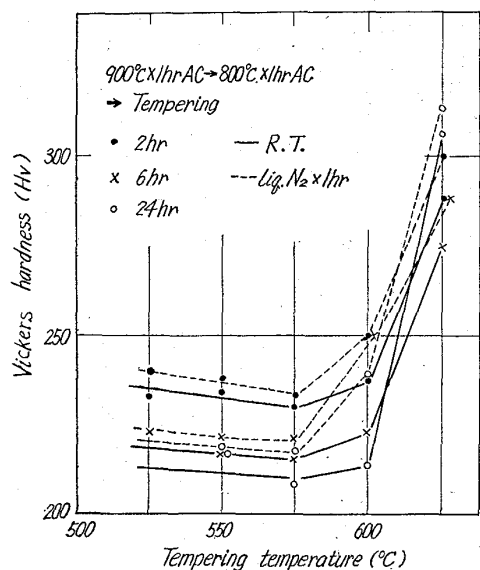


Fig. 5. Effect of tempering temperature and time on Vickers hardness of D-7 Ni steel at room temperature and  $-196^{\circ}\text{C}$ .

増加にしたがつて低下すること，すなわち  $-196^{\circ}\text{C}$  においても安定な残留オーステナイト量に対応すると考えられる。

次に硬度測定はオーステナイトの定量を行なつた試料を用いて行なつた。荷重 20kg で測定した。ピッカース硬度の結果のうち D-8 の試料の例を Fig. 5 に示す。他の試料についても同様な結果が得られた。すなわち焼戻し時間の増加とともに硬度は低下し，その傾向は試料を液体  $\text{N}_2$  中に保持したものでも同様である。conventional  $\text{Ac}_1$  点より  $30\sim 40^{\circ}\text{C}$  低い焼戻し温度（この場合  $600^{\circ}\text{C}$ ）のあたりから硬度は上昇しはじめ，焼戻し時間の長いものほどそれを liq  $\text{N}_2$  中に冷却した場合の硬度上昇は大である。更に焼戻し温度の高い場合，焼戻し

時間の長いほど硬度の低くなるこれまでの傾向は破られて，24 hr 焼戻しのものでは最高の硬度を示すようになる。これらの現象は先に述べた残留オーステナイトの量およびその安定性の関係と一致した結果を示している。

#### IV. 結 言

低温用鋼の一種である 9%Ni 鋼において，その焼戻し温度において生ずるオーステナイトの量，およびそれを室温あるいは液体窒素の温度まで冷却した際の安定性，すなわち残留量が，この鋼の低温靱性に大きく影響することは最近になって問題とされてきているが，その機構は明らかでない。そこでこの点を解明する第一歩として，Ni 含有量を 7~12% まで変化させたものに対して，その残留オーステナイトの量と安定性が，焼戻し温度に対して，どのように影響するかまたそれらの硬度や衝撃吸収エネルギーとの間の関係はどうかについて検討した。

その結果，7% Ni 程度では残留オーステナイトの安定範囲もせまく，発生量も少ないが，9% 以上の場合，その安定範囲もひろがると同時に，焼戻し温度および時間による感受性も極めて大となり，それらが硬度や衝撃吸収エネルギーとの間に有する関係もかなり密接なものがあることがみとめられた。

#### 文 献

- 1) G. R. BROPHY and A. J. MILLER: Trans. Amer. Soc. Metals, 41 (1949), p. 1185
- 2) A. R. TROIANO: Private communication
- 3) D. HARDWICK: J. Iron and Steel, 34 (1961) p. 10
- 4) 瀬川, 長島, 関野, 島田: 鉄と鋼, 49 (1963) 6, p. 914
- 5) B. L. AVERBACH and M. COHEN: Trans. Amer. Inst. Min. Met. Eng., 176 (1948), p. 401

### (143) 鋼管の応力腐食割れについて

八幡鋼管

工博 向江協公雄・○川内 信行  
佐藤 次男・宇次 安平

#### Study on Stress Corrosion Cracking of Steel Tubes.

Kimio MUKAEWAKI, Nobuyuki KAWAUCHI,  
Tsuguo SATO and Yasuhira UTSUGI

#### I. 緒 言

鋼管は使用環境により種々の腐食を受けるが，その内応力腐食は全面腐食と異なり思わぬ災害を引き起し，多大の損害を蒙ることがしばしば経験されている。応力腐食割れの機構については各種の理論が提出され，論議されているが，塩化物と引張り応力の存在は不可欠の因子で応力としては冷間加工および溶接によるものが最も悪質である。著者らは冷管引抜継目無炭素鋼鋼管，低合金鋼鋼管，ステンレス鋼鋼管および市販の炭素鋼，ステンレス鋼の溶接鋼管の応力腐食感受性について炭素鋼，低合金鋼鋼管には沸とう硝酸カルシウム+硝酸アンモニ