

含 Mn 鋼の歪時効におよぼす N, C 添加の影響

関野 昌蔵* 藤島 敏行**

Shozo Sekino and Toshiyuki Fujishima : Effect of N or C Addition on the Strain-Aging in Mn Steels. Steels containing Mn were heat-treated to have different grain size, hydrogen-treated and N or C charged, the content of which was measured by the Snoek peak height. Strain aging index (SAI) was measured by 7.5% straining and 100°C×1 hr aging. In this case, strain rates, and N or C content were changed. The following conclusions were obtained. SAI increased sharply from zero when N content increased from zero to about 10 ppm in 0.3% Mn steel, and it became almost constant when N content was over 20~40 ppm. SAI increased sharply from zero, when C content increased from zero to under 5 ppm, and it continuously increased with increasing C content, and after passing through a maximum, decreased. The content corresponding to the maximum of SAI, shifted to lower C content when the grain size was larger and the strain rate lower. The effect of Mn content on SAI was small in N-charged 0.3% Mn steel. In the case of C, sometimes 2~3 kg/mm² SAI was observed even when the Snoek peak height was zero, and in a range of higher C content, SAI tended to decrease with increasing C content. This behavior was different from that observed in the pure iron.

(Received May 25, 1974)

I. 緒 言

前報において商用純鉄の時効と N, C 量の関係を報告した⁽¹⁾。実用鋼ではほとんどの場合 0.2% 以上の Mn が含まれていることから、この場合の歪時効を調べることは実用上の意味がある。Mn が添加されれば、Mn と N とは弱い結合力が作用するので、N の溶解度、析出挙動も変り、歪時効にも影響が現われることは十分に考えられる。C もまた Mn の添加でその溶解度が低下することから、析出が促進されると考えられる。本実験でも前報と同様に粒度を変えた含 Mn 鋼に N または C だけを固溶させ、N, C 量を Snoek ピークの高さから定量し、その歪時効指数を測定し、その間の関係を明らかにすることをこころみた。

II. 実験方法

用いた試料は Mn の含有量のちがう鋼 2 種で **Table 1** にその分析値を示す。試料 A, D は真空溶解鋼を熱延、冷延、焼鈍したもの、試料 B, E は試料 A, D をそれぞれ 950°C × 2 hr 焼準して粗粒化したものである。**Table 2** にはこれらの試料の粒径を示す。これらの試料を前報に記したと全く同様の方法で湿水素処理後、N または C を単独に添加し均一化焼鈍後焼入れ N, C 量を測定し、さらに固溶処理を行ない 7.5% 引張加工、100°C × 1 hr の人工時効により歪時効指数を測定した。Snoek ピークの測定条件は前報と同じである。

* 新日本製鉄株式会社八幡製鉄所技術研究所, 現在: 新日本製鉄株式会社基礎研究所 (Technical Research Institute, Yawata Works, Nippon Steel Corp., Kitakyushu. Present address: Fundamental Research Laboratories, Nippon Steel Corp., Kawasaki)

** 新日本製鉄株式会社八幡製鉄所技術研究所, 現在: 新日本製鉄株式会社生産技術研究所 (Technical Research Institute, Yawata Works, Nippon Steel Corp., Kitakyushu. Present address: Process Technology Research and Development Laboratories, Nippon Steel Corp., Kitakyushu)

Table 1 Chemical composition of samples (%) .

Sample	C	Si	Mn	P	S	sol Al	N
A, B	0.032	0.018	0.32	0.010	0.008	0.002	0.0021
D, E	0.031	0.018	0.92	0.011	0.008	0.002	0.0030

Table 2 Mean grain diameter of samples.

Sample	d (mm)
A	0.04
B	0.08
D	0.07
E	0.11

III. 実験結果

1. N 添加材

N 添加材での実験は試料 A のみを用いて歪速度を変えて行なった。以下に結果を示す。

(1) Snoek ピーク高さ と N 量の関係

含 Mn 鋼の Snoek ピークは複雑でいくつかのピークが重ねあわさったものといわれている⁽²⁾⁽³⁾。しかし近似的にしろピークの形が N 含有量によってあまり変わらないとすれば、Snoek ピーク高さ と化学分析値を対比させて換算係数をきめることにより、Snoek ピーク高さでほぼ正確に N 含有量を表わしうると考えられる。Fig. 1 には 600 Hz で測定したピーク高さ と化学分析値との関係を示す。関係はほぼ原点を通る直線で表わしうる。この場合にえられた換算係数は、

$$N = 2.3 \times (1/Q)_{\max} \quad (1)$$

であった。

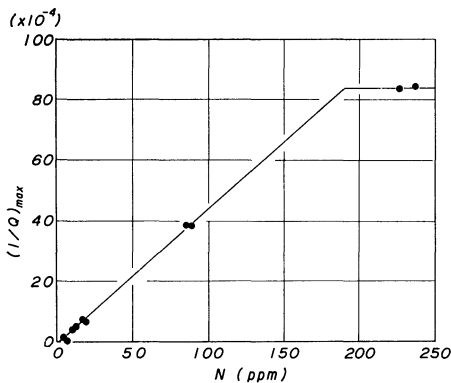


Fig. 1 Relation between Snoek peak height and chemical analysis in N charged A sample (600 Hz) .

(2) 歪時効指数の N 量による変化

Fig. 2 には A 試料について 100°C × 1 hr 時効後の歪時効指数 Δ の N 量, 歪速度による変化を示す。N 添加純鉄の場合と同じく、Δ は N 量が零から約 10 ppm まで増加するにしたがって急増し、N 量が 20~40 ppm 以上ではほとんど

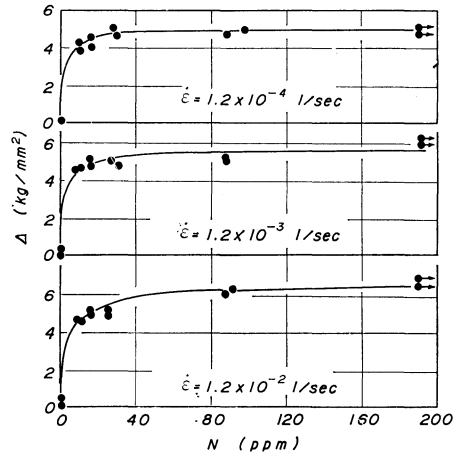


Fig. 2 Relation between Δ and N content in A sample aged 100°C × 1 hr under various strain rates.

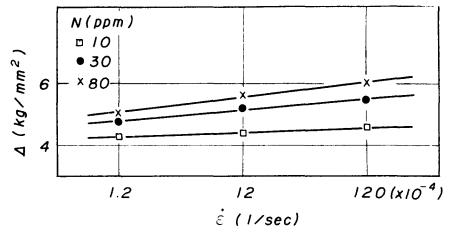


Fig. 3 Change of Δ with strain rate in N charged and A sample aged 100°C × 1 hr.

N 量によらずほぼ一定値を示す。Fig. 3 には Δ と歪速度の関係を示した。N 量が少なければ歪速度の増加による Δ の増加はわずかであるが、N 量が多くなるにしたがって歪速度の影響は大きくなる。

2. C 添加材

C 添加の実験は試料 A, B, D, E を用いて行なった。

(1) Snoek ピーク高さ と C 量の関係

含 Mn 鋼の C の Snoek ピークは N のそれほど複雑でなく、純鉄のそれに近い。いずれにし約 600 Hz で測定したときのピーク高さ と化学分析値の関係は、

$$\begin{aligned} C(\text{wt}\%) &= 2.3 \times (1/Q)_{\max} && \text{A 試料} \\ &= 1.7 \times (1/Q)_{\max} && \text{B 試料} \\ &= 2.2 \times (1/Q)_{\max} && \text{D 試料} \\ &= 1.6 \times (1/Q)_{\max} && \text{E 試料} \end{aligned} \quad (2)$$

となった。純鉄と比べてことに細粒の試料で係数が大きいことが特長的である。結果は Fig. 4 に示す。ことに Mn 量がふえると固溶限がかなり低くなるのがわかる。

(2) 歪時効指数の C 量による変化

Fig. 5 には A 試料について 100°C × 1 hr の時効後、Δ の

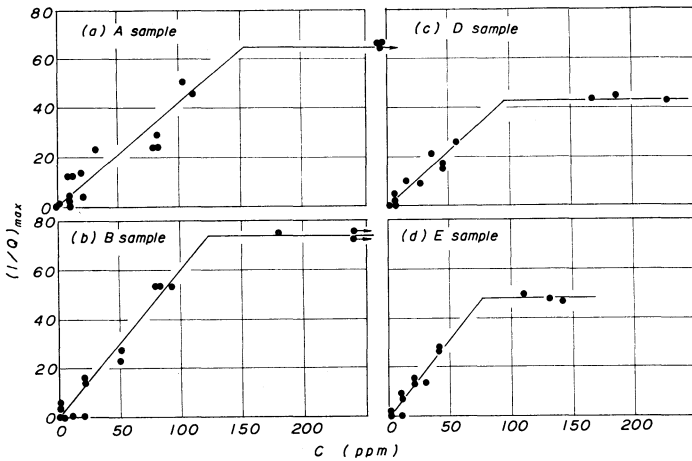


Fig.4 Relation between Snoek peak height and chemical analysis in C charged samples (600 Hz).

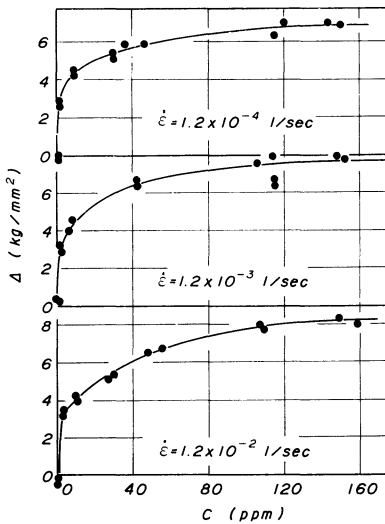


Fig.5 Relation between Δ and C content in A sample aged $100^\circ C \times 1$ hr under various strain rates.

C量, 歪速度による変化を示す。 Δ はC量が零から 2 ppm ふえるまでに零から急増し, それ以上C量が増すにしたがって漸増し, C量 120 ppm 以上のところで飽和に達する。純鉄の場合とはこのような飽和現象は認められなかった。

Fig.6 にはB試料での同様の結果を示す。傾向は Fig.5 と同じであるが, C量が 1 ppm でも Δ は約 3 kg/mm^2 に達しており微量Cの影響がいちじるしい。またC量が 100 ppm を越すと Δ はわずかながらC量とともに低下した。この傾向はA試料でも認められたが, それがさらに明瞭に現われたといえる。

Fig.7 ではD, E試料についての同様の結果を示す。D試料で特長なことは Snoek ピーク高さが零であっても Δ は 2~2.5 kg/mm^2 程度現われることである。C量が増加

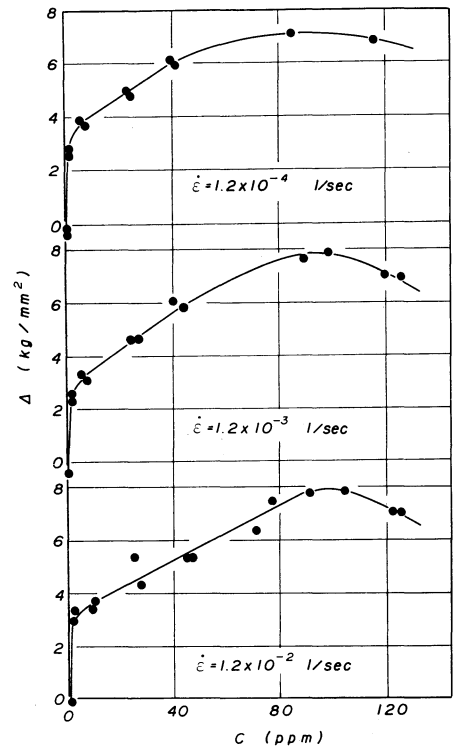


Fig.6 Relation between Δ and C content in B sample aged $100^\circ C \times 1$ hr under various strain rates.

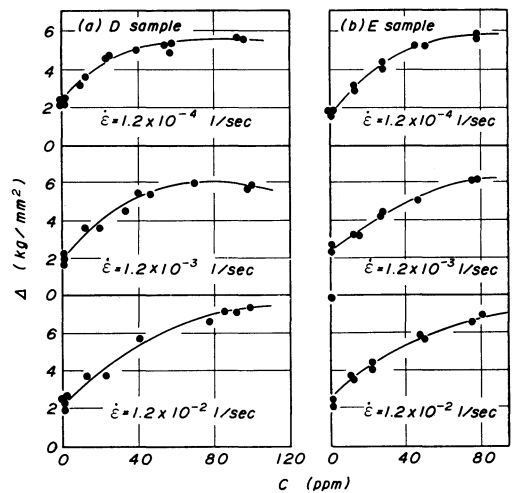


Fig.7 Relation between Δ and C content in D and E samples aged $100^\circ C \times 1$ hr under various strain rates.

するとともに Δ も増加するが, ある点で極大に達し, それ以上C量がませば Δ はかえって減少している。 Δ の極大に対応するC量は歪速度が速いほど多くなる。この傾向はB試料でも認められた。

さらにE試料についての同様の結果を示す。D試料と同様に Snoek ピーク高さが零でも約 2 kg/mm^2 の Δ が測定

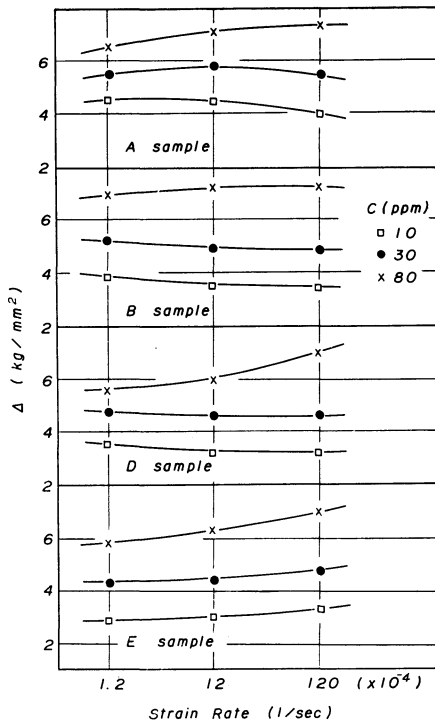


Fig. 8 Change of Δ with strain rate in C charged and A, B, D, and E samples aged $100^{\circ}\text{C} \times 1 \text{ hr}$.

された。その他の傾向も他試料で認められたところとよく似ている。

Fig. 8 には Δ と歪速度の関係を示す。C 量が 30 ppm 以下の少ない範囲では歪速度依存性は小さく、80 ppm と多い範囲でも純鉄のそれ以下である。

IV. 考 察

本研究では試料中の N, または C 量を Snoek ピーク高さから定量している。Fig. 1, 4 で認められるように Snoek ピーク高さ と分析値の間には一応直線関係があることから、鋼中の N, C はたとえごくわずかな一定割合だけは析出状態にあるとしても、一応は定量されているといえる。ただ Fig. 4 を詳細にみると Snoek ピーク高さはほぼ零であるにもかかわらず、分析では数 ppm の C 量が測定されている場合もある。本実験では 0.9% Mn を含む鋼で、Snoek ピーク高さ零の場合でも、Fig. 7 で認められるように約 2 kg/mm^2 の Δ が測定された。このことを考えあわせると、含 Mn 鋼でことに Mn 量の多い場合には Mn 原子のまわりに固着されている N, または C は Snoek ピークには寄与せず、しかも加工後新しくできた転位へ拡散して、これを拘束すると解釈すべきであろう。このような N, C は純鉄に比べれば、より長時間の湿水素処理を行なってはじめてとり除くことができることを考えると、かなり安定な形で存在しているといえるし、量も数 ppm 以

下の微量なものである。このような N, C が存在する限り Snoek ピーク高さから歪時効性を判定するには限界があるといえよう。

含 Mn 鋼で C 量と Δ の関係で注目される点は、C 量の多い範囲では C 量がふえるにしたがって Δ はむしろ減少していくことである。この点は予歪中にすでに時効が起っているか、時効とまではいかないとしても Mn と C の相互作用で加工硬化が大きいとためと考えられる。 Δ の低下は歪速度の遅いほど低 C 域から現われることもこの考えを裏づけている。含 Mn 鋼では、溶解度の低いことからわかるように C 量が多くなった場合に純鉄と比べて析出が起り易いことは確かである。結晶粒が大きいてもこの傾向がいちじるしくなるのは、粗粒ほど予歪中にできる転位密度は少なく、それだけ C の析出の影響を受け易いためとも考えられるが、詳細は今後の研究で明らかにしていかなければならないであろう。

Mn の歪時効に及ぼす影響については、常温から 100°C 程度までの低温域において歪時効の進行を遅らせることが報告されている⁽⁴⁾。本実験で得られた Mn 量と Δ の関係は Fig. 9 に示すように N, C 量が 10~80 ppm 程度ではあまり影響はない。80 ppm 以上になるとすでに説明したように Mn 量が多くなるにしたがって Δ は減少する。

結局以上の事実を総合して考えると Mn の歪時効への影響については次のように考えるべきであろう。すなわち N, C ともその Mn に対する結合力の強さからみて、Mn 原子のまわりに固溶状態に近い状態で、比較的高い確率

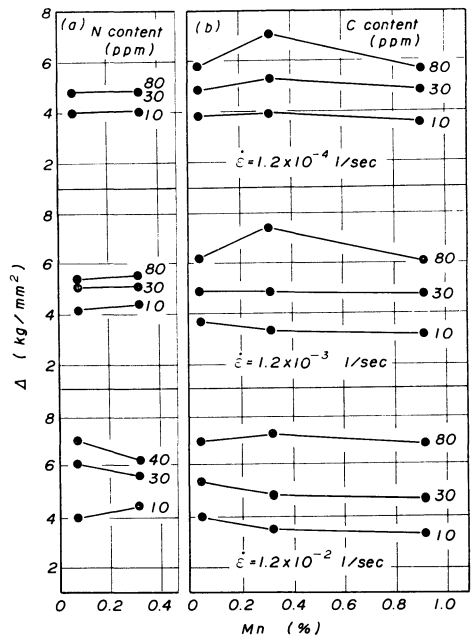


Fig. 9 Change of Δ with Mn content in N or C charged samples. Mean grain diameters in the case of (a) and (b) are 0.04, and 0.07~8 min, respectively.
(a) N charged, (b) C charged

で集まっている。加工によって新しい転位ができると、N、C 原子にとっては転位線の方が安定であり、転位線上の Mn 原子を中心にして急速な再配分が行なわれる。しかし転位線から離れたところにある Mn 原子のまわりに固着されている N、C 原子は、Mn 原子から離れがたく、時効の進展は純鉄に比べて遅い。時効温度が高まって、N、C 原子の熱エネルギーが高まり、Mn の結合力の影響が相対的に低下するのにもなって、Mn の歪時効への影響も減少していく。

V. 結 論

結晶粒度を変えた Mn 量のちがう試料に N、または C を固溶させて歪時効指数を測定した。その結果以下の結論をえた。

(1) N、C 量の影響：歪時効指数は N 量が零から約 10 ppm まで増加すると、零から急増する。20~40 ppm 以上では N 量によらずほぼ一定であり純鉄の場合とあまり変わっていない。それに比べて C の場合は歪時効指数は C 量が 0~5 ppm までに急増し、それ以上 C 量がふえるにしたがって C 量に比例して増加し、極大をへて減少する。歪時効指数

の極大値に対応する C 量は結晶粒が大きいほど、高 Mn 鋼ほど、歪速度が遅いほど低 C 側にくる。

(2) 歪速度の影響：N 添加の場合に歪時効指数は歪速度が大きいほど大きく、その程度は N 量が多いほど大きい。C 添加の場合は C 量が 30 ppm 以下では歪時効指数の歪速度依存性はわずかである。さらに量の多い範囲でははっきりしない。

(3) Mn の影響：N 添加の場合、0.3% の Mn 量では純鉄と比べて歪時効指数への影響は小さい。C 添加の場合は、Mn 量とともに顕著になる傾向として、Snoek ピーク高さが零でも歪時効指数が測定されること、また C 量の多い範囲では、歪時効指数が C 量とともにむしろ減少していく傾向が認められることである。

文 献

- (1) 関野昌蔵，藤島敏行：金属学会誌，**39**(1975)，213.
- (2) L.J.Dijkstra and R.J.Sladak：J.Metals，**5**(1953)，69.
- (3) M.Nacken and U.Kuhlmann：Arch.Eisenhüttenw., **37**(1966)，235.
- (4) B.Jones and R.A.Owen-Barnett：J.Iron Steel Inst., **177**(1954)，209.