



(c)JFE Steel Corporation, 2003

• e c b i f a ? } 7 0 t [ A r M

# 内部摩擦による冷延鋼板の歪時効の研究

Study of Strain Ageing of Mild Steel Sheet Using Internal Friction Technique

志賀千晶\*

佐々木 徹\*\*

Chiaki Shiga

Tooru Sasaki

松村 治\*\*\*

Ko Matsumura

## Synopsis:

It was found by the measurement of the internal friction that the strain ageing of mild steel sheet is caused by the internal friction technique.

の主因ではあるが、このほか細かく分散析出して  
いる  $\text{AlN}$  が、固溶の  $\text{N}$  が  $\text{N}$  原子層の形成に

ついて実験事実を述べ、降伏応力の増加の機  
構として  $\text{AlN}$  と  $\text{Fe}$  の相互作用による

していると考えられる。  
従来時効過程を追跡した多くの実験事実がある  
が、そのうち多くのものが脆化に起因する

ついて、Granato-Lucke の理論を中心とし  
て考察を行なったものである。

摩擦の Snoek ピークを用いて、マトリックスに残  
留する固溶  $\text{N}$  原子層の変化を観察している

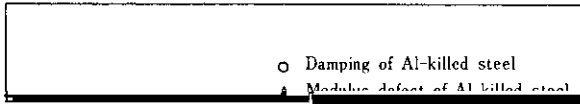
## 2. 実験方法

Table 2 Conditions of heat treatment

Treatment	Mark (R-or K-)		Condition
-----------	-------------------	--	-----------







ある。縦軸（左側）は、Fig. 8の内部摩擦の測定値から  $(d_1)^{-2}$  と  $d_1^2$  の関係をプロットし、加工直後



の増加  $\Delta\sigma_n$  は時間  $10^2\text{min}$  まで非常にゆるやかな挙動をすることがわかる。

### 3.3 再付加応力による内部摩擦の上昇および剛性率の回復

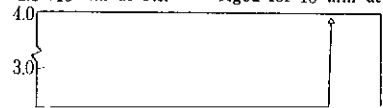
ものであるが、両鋼の7種の固容量を変えた試料

$1.3 \times 10^4\text{min}$  室温時効させた Al キルド鋼 (K-



10<sup>4</sup>min および 1.3×10<sup>4</sup>min 与えたもの、室温時効10<sup>4</sup>min与えさらに 80°C×11hr 焼鈍したもの、これら3つの試料の内部摩擦の上昇度は付加応力に比例して大きくなり、σ<sub>r</sub>に相当する荷重で予歪直後の値にまで上昇する。

- | Al-killed steel                            |                          | Rimmed steel              |  |
|--|--------------------------|---------------------------|--|
| ■ Aged for 200min at r.t.                  | △ Aged for 70min at r.t. | ○ Aged for 150min at r.t. | □ Aged for 10 <sup>4</sup> min at r.t. |
| ● Aged for 10 <sup>4</sup> min at r.t.     |                          |                           |  |
| ▲ Aged for 1.3×10 <sup>4</sup> min at r.t. |                          |                           |  |



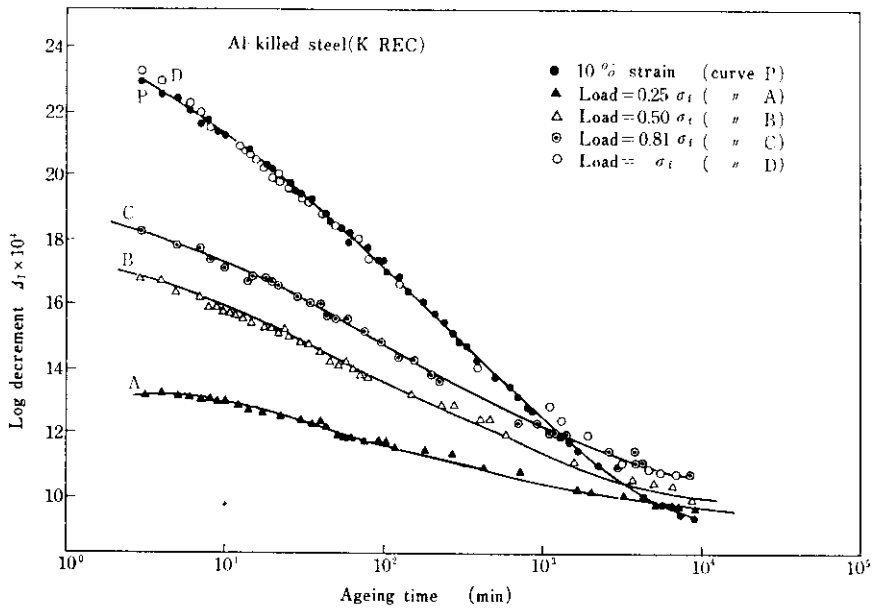
内部摩擦の上昇が観察された。その時効速度の増加は Al キルド鋼の場合に

内部摩擦が上昇する現象を観察することができたが、その上昇後の時効速度を調べ予歪後の時効速度と比較して Al キルド鋼の場合 Fig. 12 お

そう顕著になる。Fig. 16 は  $1.3 \times 10^4$  min 室温時効させた Al キルド鋼に、 $0.25 \sigma_r$ ,  $0.50 \sigma_r$ ,  $0.81 \sigma_r$ ,  $\sigma_r$  の 4 つの再付加応力を与え内部摩擦

らわかるように内部摩擦の上昇がはっきり測定されるのは時効初期である。室温で 70min 時効させた時点で、 $0.25 \sigma_r$ ,  $0.50 \sigma_r$ ,  $0.75 \sigma_r$ ,  $\sigma_r$  4 種類の再付加応力を与え内部摩擦を上昇させ、その後時効曲線を測定した。その結果が Fig. 14

を上昇させた後の時効曲線である。Fig. 15 の Al キルド鋼の場合と同様、予歪後の時効曲線と対応させ再びプロットした結果を Fig. 17 に示す。再付加応力を  $\sigma_r$  の大ききまで与え内部摩擦を予歪直後の値まで上昇させた場合は、予歪後の時効曲線



of time after reload. Each stress 0.25  $\sigma_f$ , 0.50  $\sigma_f$ , 0.81  $\sigma_f$  and  $\sigma_f$  was applied to four specimens of as-received Al-killed steel aged for  $1.3 \times 10^4$  min

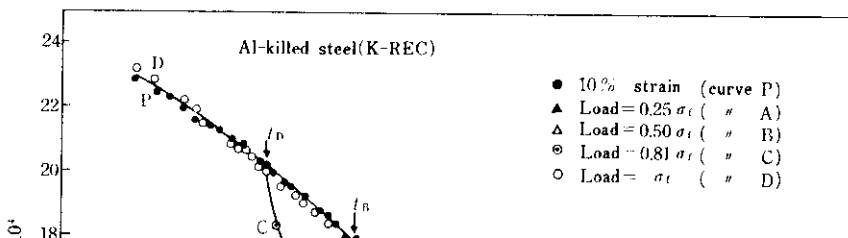


Fig. 18, 19はリムドおよび Al キルド鋼について

活性化エネルギー  
加工後の内部摩擦の減少について Granato<sup>3,4)</sup>

擦は両鋼とも  $n=1/2$  のほうがより長時間直線関係  
が満たされ、リムド鋼については 470min まで、

なりたつ過程の活性化エネルギーを求めるため  
(6)式を次のように表わす。

$$\beta = (K/T^{1/2}) \cdot \exp(-G/3kT) \dots\dots\dots(9)$$

$$\therefore \log(\beta T^{1/2}) = \log K - G/3kT \dots\dots\dots(10)$$

#### 4. 考 察

勾配から活性化エネルギーが求まる。Fig. 20, 21  
はリムドおよび Al キルド鋼について測定温度を  
変え求めた  $\log \beta T^{1/2}$  と  $1/T$  の関係である。その

試料 K-DN は、R-DN, K の 2 試料に比べ結  
晶粒が約 3 倍大きい。そのため試料 K-DN の  
Snoek ピークは大きく観察されている。従来の報  
告によれば、リムド鋼の Snoek ピークの強度は

length

り大きく上昇するが、リムド鋼では固溶C, N量が多いため加工直後の間隔がすでに  $L_q$  と短く、弾性限内の応力では  $L_1$  の長さにはすることは不可



均値とする新しい分布になる。この新しい分布を

$$+ A_0 / \{(\delta + 1) \cdot (1 + \beta_0 t^{\delta})\} \dots \dots (15)$$

指数関数分布の和と考え計算してみる。これらの分布を Fig. 23 に示す。

平均値として  $L_0$ ,  $L_0$  をもつ2つの分布の転位

時間変化は第2項に比べ非常に小さい。ゆえに (15)式は

$$L = L_0 + \frac{A_0}{\delta + 1} \frac{1 - (1 + \beta_0 t^{\delta})^{-(\delta + 1)}}{\beta_0 t^{\delta - 1}}$$

は一致すると考えられる。一方、固溶C, N量の

後の回復過程の活性化エネルギーを求めた。そし

が短いため、固着ははずれ難い。そのため時効後付加応力を与えても固着点間隔の分布は大きく変わらず上昇度も小さく、またその後の時効速度も予歪後の時効速度に比べ、Alキルド鋼のような顕

エネルギーの約 $\frac{1}{2}$ であること、また、これが、転位線にそった不純溶質原子の拡散であることを指適している。さらに、藤元<sup>15,16)</sup>らは、低炭素鋼の歪時効を調べ、 $\frac{1}{2}$ 法則過程を見出し、その機

Table A—Relation between  $B$  and  $I$  according to equation (19),  $B$  (g/sec·cm),  $L_0$  (cm),  $A$  (cm/cm<sup>3</sup>) 工直後 ( $t=0$ ) の平均固着点間隔  $L_0$  (飽和) 及び

to equation (19),  $B$  (g/sec·cm),  $L_0$  (cm),  $A$  (cm/cm<sup>3</sup>)

$A$ (cm/cm <sup>3</sup> )	$1.0 \times 10^{10}$	$5.0 \times 10^{10}$	$3.3 \times 10^{11}$
$L_0$ (cm)			
$1 \times 10^{-5}$			$4.48 \times 10^{-1}$
$2 \times 10^{-5}$	$9.24 \times 10^{-1}$	$1.85 \times 10^{-1}$	$2.79 \times 10^{-2}$

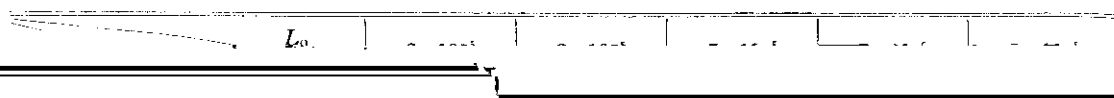
た時点 ( $t=10^4$  min) の平均固着点間隔  $L_r$  の各長さは、内部摩擦の実測値から  $L_0$  で表わされる。

$$L_p = 0.7611 L_0 \dots\dots\dots (20)$$

$$L_q = 0.7928 L_0 \dots\dots\dots (21)$$

$$L_r = 0.6532 L_0 \dots\dots\dots (22)$$

different values of  $\lambda$  and five different values of  $L_0$  (point/cm<sup>3</sup>)



## 参 考 文 献

- 1) R. M. Bozorth : Ferromagnetism, (1951), 699 [D. Van Nostrand, Inc. Princeton, Jersey]
- 2) K. Sugimoto and M. Ibaraki : J. Japan Inst. Metals, 31 (1967), 67
- 3) A. Granato and K. Lucke : J. Appl. Phys., 27 (1955), 583
- 4) A. Granato, A. Hikata and K. Lucke : Acta Met., 6 (1958), 470
- 5) R. R. Hasiguti, N. Igata and M. Shimotomai : Trans. Japan Inst. Metals (supp.), 9 (1968), 42

York]

- 7) C. Shiga : Unpublished work
- 8) J. H. Humphreys, A. Plumtree and W. J. Bratina : Acta Met., 17 (1969), 775
- 9) H. F. Rosinger, G. B. Craig and W. I. Bratina : Phil. Mag., 23 (1972), 1331
- 10) C. Schoeck and A. Seeger : Acta Met. 7 (1959) 469