

試片を 150°C に 30sec 保持することによつてエリクセン値は急激に上昇し、その後は日数の経過によりエリクセン値の低下は現われない。

(2) 軟化焼鈍: 時効中の軟鋼板を各温度に 30h 焼鈍したものは 100~200°C 間まではエリクセン値は急激に上昇して第1次の最高に達し、その後急激に低下して 300°C 附近で最低値に達し、更に温度と共に上昇して 650~700°C で第2次の最高に達し、その後は漸次低下している。しかもこの現象は実験範囲の加工度及びC量には殆んど関係なく起つている。Fig. 3は Fig. 1と同一鋼材の試片について加工後 10 日間時効させた後に各温度に 3h 焼鈍したもののエリクセン値である。ただ 100~

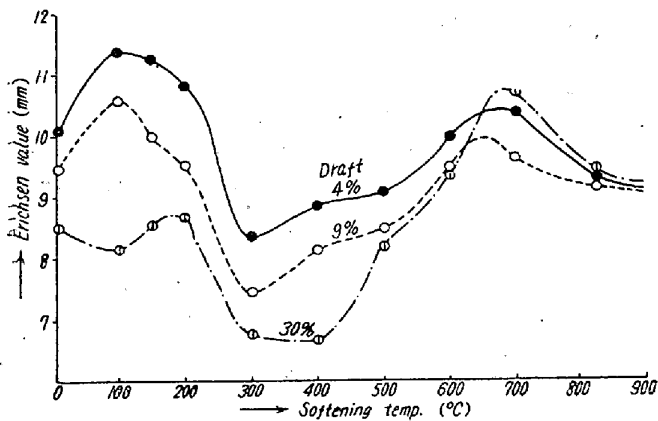


Fig. 3

200°C 間のエリクセン値の上昇は加工度が大きくなるにつれて小さくなるが、C量の小さいもの程、又 Fe<sub>3</sub>C が微細な組織のもの程著しく明瞭となり、最高値は 200°C 側に偏つてくる。又加工度が大きくなるにつれて第2次の最高への上昇は高温側に偏り、急激に起つている。なおここに特記すべきことは種々な加工度を受けたものも大体 650°C 附近に加熱するときは殆んどエリクセン値は互に近づくことである。

(3) 加工度と結晶粒の異常成長: 5~40% まで 10 種の異つた加工度を与えた薄板について 800°C 1h 加熱後の結晶粒の大きさを測定し、加工度と粒度との関係図を画き結晶粒の異常成長が 800°C では 9~14% (臨界加工度) にあることが明らかになつた。

## V. 結 論

以上の実験結果は主として薄板の深絞加工に対する基礎的なデータを提供するものであるが、特に主な事項をまとめると、

(1) 常温加工後の歪時効のエリクセン値は加工後 5~6 時間では却つて上昇し、5 日頃に最低値を示す。

(2) 加工後の時効途中に於いて薄板を 150°C 附近に少時間加熱することによつて時効は防止されるようである。

(3) 加工後の時効中に 100~200°C に低温焼鈍することによつてエリクセン値は著しく上昇するが、特にこの現象は 12~13% 以下の加工度のものに著しく現われるが、50%以上の加工度のものは殆んど現われない。

(4) 加工された薄板もこれを 650°C 附近に焼鈍することによつて、加工度に関係なくエリクセン値は上昇し、しかも殆んど等しいエリクセン値を得ることが出来る。

## (45) 軟鋼の歪時効に就いて (I)

(歪時効に対する温度の影響)

Strain Aging of Mild Steel (I)

(Effects of Aging Temperature)

Masato Yoshida, et alii.

富士製鉄広畑製鉄所研究所 工〇吉田正人

工中西昭一・田中俊彦

### I. 緒 言

薄板のプレス成型の際問題となるべき欠陥の一つとして Lüder's line 即ち stretcher strain の発生が挙げられるが、これはその薄板の降伏点の状態が時効と共に変化し、降伏点伸び (yield-point elongation) が明瞭に現われている現象によるものである。したがって製造所に於いてはこの現象の発生を避けるために適正なる temper rolling を与える必要があるが、これとてもプレス成型迄の貯蔵期間の長期化と共に時効によつて降伏点伸びの復元は免れない。

よつてここに薄板の歪時効による降伏点伸びの復元現象の度合を迅速に判定する試験を行い、適当なる処置を講ずる必要性が生れてくる。この時効の迅速判定法に就いては現在既に数種の試験が行われているが、それはあくまでも経験的なものであつて、それらの迅速人工時効試験と常温自然時効との関係も明白ならず、又両者に於ける歪時効現象の進行過程に対する検討もなされていない現状である。

本研究は常温より高い温度に於いて短時間時効させた場合の時効量、温度、時間の三条件の関係を明白にして常温時効との関連性を求めると共に、併せて歪時効現象の解明に一考察を加えたものである。

## II. 時効量

時効量を測定する方法としては、次の諸方法が考えられ、既に諸研究者がそれらの index を用いて歪時効現象を研究している。

### A. 引張試験

1. 降伏点の増加-Hundy, Schwartzbart & Low, Leslie & Pickett, Jones
2. 降伏点伸び率の増加-Kenyon & Burns
3. 伸び率の減少-Hundy
4. 抗張力の増加-Köchritz, Hundy
5. 弾性限の増加-Hundy

### B. 硬度測定 Davenport & Bain, Shoenberger & Poliwoda

### C. 電気抵抗測定 Cottrell & Churchman

### D. 衝撃値測定 Osborn

本研究に於いては引張試験に於ける降伏点の増加割合を時効量の index として用いた。即ち試験片に対して引張り荷重を与え、降伏点以上の均一塑性変形範囲迄歪を加えた後、荷重をはずして目的の時効処理を施す。その後再び荷重を加えて破断迄もたすが、その際に於ける降伏点の増加割合をもつて時効量とした。

その経過を図示すれば Fig. 1 の如くなる。

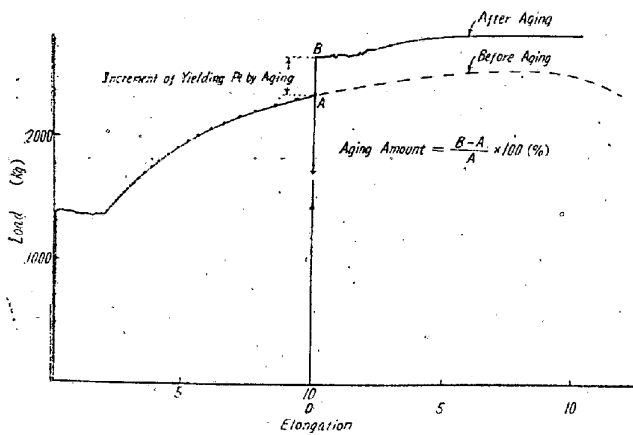


Fig. 1. Curve of load-elongation.

時効量は次の如き計算にて%でもつて示す、

$$\text{時効量\%} = \frac{B-A}{A} \times 100$$

A: 荷重を零に戻した時の荷重

B: 時効処理後の降伏点

## III. 試験片及び試験方法

試験片としては薄板冷延用のリムドホットコイルより採取し5号試験片に切削してドライ粉に包み 950°C 1 時間焼準した。その後炉冷したが冷却には室温迄約24時

間を要した。引張試験の際は試験片に歪計 (dialgauge 付) を固定し 1/1000 mm の読みにて歪を測定した。

試験する際は 10% 迄歪をあたえた時に荷重を零に戻した。その後直ちに所定の時効を施す為に予め或る温度に保っている恒温水槽又は恒温油槽に所定時間浸漬した。温度としては 20°C, 50°C, 75°C, 100°C, 150°C 等を選び、100°C 迄は恒温水槽 100°C 以上は恒温油槽を用いたが、100°C 以下でも 6 時間以上の長時間時効の際は、錆の発生を防ぐために恒温水槽中の油槽の中に試験片を浸漬した。

又 100°C 以下の水に試験片を浸漬した際、試験片が所定温度に達するに要する時間は実験の結果 3 秒以内であつて無視できる。100°C 以上の油に対する場合は 8~10 秒を要した。恒温水槽又は恒温油槽における温度のばらつきは ±0.2°C 程で肉眼では認めにくい程度であつた。

時効処理時間に達すれば直ちに水にて冷却し再び上記と同じ方法にて試験機にかけた。その間の所要時間は 4~5 分である。再荷重を加える途中降伏点を詳細に測定して破断に至らしめた。その際抗張力、伸率 (全伸び及び gauge length を 10 等分して個々の伸をも測定) を併せて測定した。

## IV. 実験結果及び考察

時効処理温度 20°C, 50°C, 75°C, 100°C, 150°C に於いて夫々 15 秒~48 時間の種々の時間時効をあたえ時効量を測定した。測定値について時間の log と時効量との関係を図示して見れば Fig. 2 の如くなる。

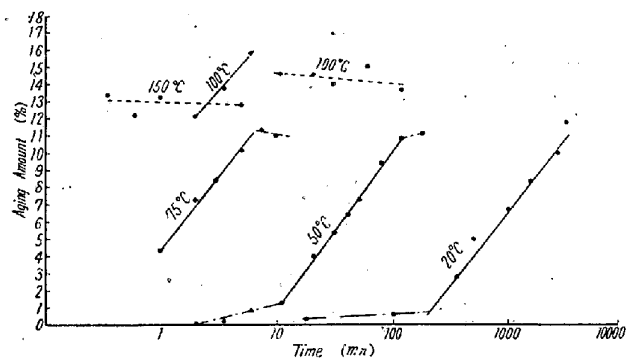


Fig. 2. Change of aging amount by aging

図によれば時効量と  $\log t$  ( $t$ : 時間) とは直線的な関係にあり、又その勾配も温度には無関係で全て同一である。この傾向は B. B. Hundy 及び H. Cottrell の同様な実験結果及び Churchman の時効による電気抵抗の変化と時間の関係と一致している。唯 Hundy の結果は時効量として弾性限の測定値を取り、荷重を戻した時

の荷重のばらつきの補正を行っていないので値がばらついているに反し、本実験結果はその補正のためにばらつきが少ない。次に抗張力と時効時間並びに伸び率と時効時間との間について同様な関係があるか否かを Fig.3 に示した。この図から明らかなる如く抗張力及び伸び率と時

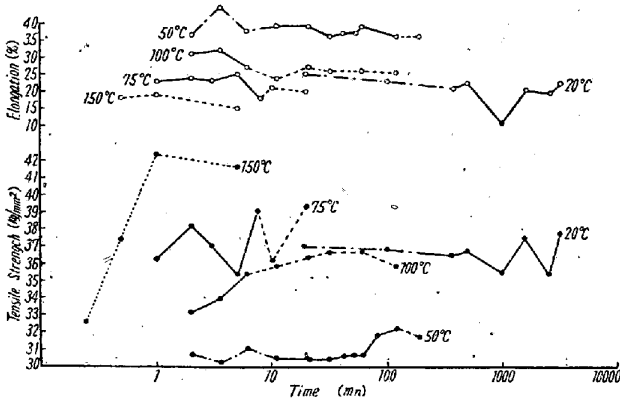


Fig. 3. Change of tensile strength and elongation by aging.

効との間には必ずしも明瞭なる対応はない様である。時効量の index として如何なる物理的性質を取るべきかは問題ではあるが、Low & Gensamer, Schwartzbart & Low, Leslie & R.L. Rickett, Hundy 等が採用し且つ特に Leslie & R.L. Rickett が推賞している引張荷重によるこの試験方法は Fig. 2~3 の傾向から時効の index としても適当なものではないかと思われる。

Fig. 2 に於ける 100°C の直線中 10 分以上の点線部分は over aging を示す部分であつて、これと比較すれば 150°C に於いては既に 15 秒に於いて over aging の状態にある事が分る。150°C に於けるそれより以下の時間は実験誤差が大きくなるので行わなかつた。20°C に於いては 3 時間より時効が始まり 55 時間にて over aging に達する。この様に温度が非常に大きく時効に影響する事を知り得た。今 Fig. 2 に於ける 20, 50, 70, 100°C に於ける時効量の関係が同一勾配である事から時効量に対する次の式を考え得る。

今時効量を  $n$ , 時間を  $t$  とすれば

$$n = a + b \log t \dots\dots\dots(1)$$

$b$  に就いては Fig. 2 より

$$b = \text{constant (約}0.8) \dots\dots\dots(2)$$

(2) 式の  $b = \text{constant}$  という事は温度が異なつていても Fig. 2 に於ける平行直線部の時効経過は同一状態と考えてよい事を示している。

歪時効の機構については現在 Cottrell の仮設が最も確からしく考えられており侵入型固溶原子は転位の周囲

に atmosphere を形成して転位の脱出を妨げているが atmosphere の臨界応力以上の外力がかかつた場合には Dislocation loop が形成され、その為明瞭な降伏点伸びを生ずる。この歪を受けた鉄が時効すれば侵入型固溶原子は再び転位の周囲に拡散してきて再び降伏点を表わす状態に戻る。

従つて Cottrell & Bilby 及び Harper は時効を支配する variant として次の 4 条件を考えている。

- (1)  $N$ : 単位体積中の固溶原子の数
- (2)  $D$ :  $\alpha$  鉄中の固溶体の拡散係数
- (3)  $T$ : 温度
- (4)  $t$ : 時間

今本実験の温度範囲では  $N$  は変化なしと考えれば時効現象 ( $n$  で示す) は次の如き函数と考えられる。

$$n = f(D, T, t) \dots\dots\dots(4)$$

よつて (1) (4) 式より (1) 式中の  $a$  は次の如く示される。

$$a = f(D, T)$$

よつて (1) 式は次の如く表わされる。

$$n = f(D, T) + C \log t, C = \text{constant}$$

尙  $f(D, T)$  及び  $C$  の値については、本実験結果と Cottrell 及び Bilby の式より詳細に検討した。

### V. 結 言

本実験結果を総合すると

- (1) 軟鋼の歪時効の Index として上記時効量を取る事により可成り明瞭に時効を表わす事が出来る。
- (2) 時効量の物理的意味も転位論の立場より解釈が可能である。
- (3) 常温より 100°C 迄の間の時効現象には差が認められず 100°C の時効を行う事により常温時効の長時間の結果を推定しうる。

尙予歪、結晶粒度等の影響については次回にゆずり度い。

### (46) 高炭素鋼に於ける初析セメントイトの析出速度

(The Rate of Precipitation of the Pro-Eutectoid Cementite in High-Carbon Steels)

Masayoshi Hasegawa, Dr. Eng.

早稲田大学助教授 工博 長谷川 正義