

本調査がロールの製造上および使用上に役立てば幸甚である。なおワークロールの組織についての冶金学的考察は実験を継続中であるので、詳細はこれにゆずつた。終りに本調査に当つた亀山悦夫および荒瀬健一の両氏に深い謝意を表す。(昭 31—6 月寄稿)

文 献

- 1) A. S. T. M. Committee E-4: A. S. T. M. Proceeding Vol. 50 (1950) p. 444~492
- 2) A. S. T. M. Committee E-4: A. S. T. M. Proceeding Vol. 52 (1952) p. 543~572
- 3) W. L. Grube and S. R. Rouse: A. S. T. M. Proceeding Vol. 52 (1952) p. 573~591

## 冷間圧縮アームコ鉄中の蓄積エネルギー におよぼす加工速度の影響\*

美 馬 源 次 郎\*\*・山 根 寿 己\*\*\*

### ON THE EFFECT OF WORKING VELOCITY ON THE STORED ENERGY OF COLD WORKED ARMCO IRON

*Genjiro Mima, Dr. Eng. and Toshimi Yamane*

#### Synopsis:

The specific heats of Armco iron which was cold compressed with a high-speed working velocity (about 4.3m/s) and a low-speed one, were measured by Sykes' method, and stored energies were calculated and compared with each other. The results were as follows:

- (1) The stored energy was released in two steps.
- (2) The ratio of stored energy to the working energy were 4.9% in the case of the high-speed working velocity and 9.4% in the case of the low-speed working velocity.
- (3) The stored energies increased proportionally to  $\log (h_0/h)$ . Here  $h_0$  is the height of uncompressed samples,  $h$  is the height of samples after compression.
- (4) The authors can not clear the difference of the stored energies between the case of high-speed compression and low-speed one within the accuracy of this experiment. Lastly, they discussed the results using Mott and Stroh's theory.

#### I. 緒 言

金属の冷間加工において、これを静的に行う場合と動力学的に施行する場合とにおいて、加工された金属がどのように違うかを明らかにすることは、実際の加工法から考えて重要なばかりでなく、理論的にもまた、興味のある問題である。しかるにこの問題に関する研究報告は非常に少いようである。そこで著者らはこの問題の解明の第1段階として冷間加工した金属中に蓄積されるエネルギーが、静的加工と衝撃的加工とによつてどのように違うかを比較検討することにした。

#### II. 試験片の調製および実験方法

あらかじめ十分焼鈍したアームコ鉄円柱試験片をそれぞれ約 10, 30, および 70% 圧縮加工した後、施盤加工を極めて徐々に行い、比熱測定用試験片を作つた。比熱

は、Sykes の方法で測定した。また試験片の静的および動力学的圧縮には、それぞれ 30 t アムスラー試験機およびドロップハンマー (ハンマー重量 196 kg 落下高さ約 1m) を使用した。

#### III. 実 験 結 果

あらかじめ、十分焼鈍したアームコ鉄試験片の静微鏡組織は、Fig. 1 に示すごとくである。この試験片を圧縮した後、比重を測定したるに Fig. 2 に示す結果をえた。

図に明らかなように、静的加工を施した試験片の比重は加工率の増加とともに緩慢に低下して、すでに発表されている結果とよく一致している。しかし動力学的加工を

\* 昭和 30 年 10 月本会講演大会にて発表

\*\* 大阪大学工学部、工学博士

\*\*\* 大阪大学大学院学生、工学修士

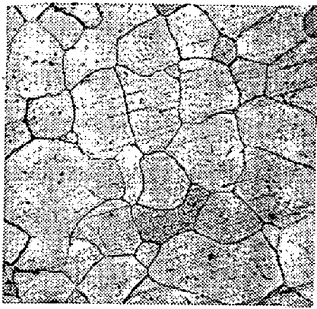
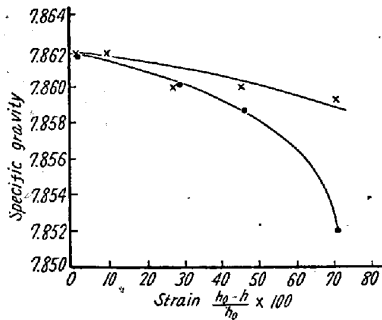


Fig. 1. The sample after annealing.  $\times 100(2/3)$

施した試料においては前者にくらべて、その低下の傾向はいちじるしく増大し、とくに、約 50% 以上の加工率においては急激に低下する。

上記の冷間圧縮試料を両系列について検鏡したるに加工速度が大なる時には加工度の大小にかかわらずノ



● high-speed compression.  
 × low-speed compression.

Fig. 2. The variations of specific gravity by cold compressions.

イマンバンドがみられたが、加工速度が遅い時には加工度に関せずノイマンバンドは全くみられなかつた。Fig. 3 および Fig. 4 はその 1 例で、写真は 50% 加工した試験片の顕微鏡組織で、前者にはドロップハンマー加工（衝撃加工）によるもので、明らかに多数のノイマンバンドがみられ、後者ではノイマンバンドは全くみられない。

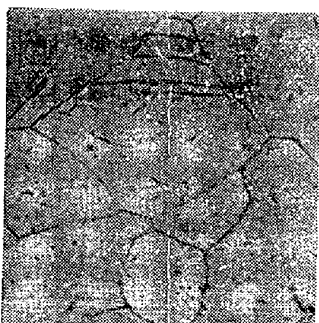


Fig. 3. 52.8% compression by drop-hammer.  $\times 192(2/3)$

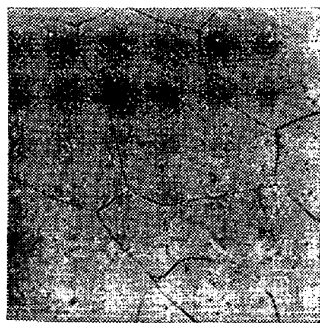


Fig. 4. 51.3% compression by amsler.  $\times 192(2/3)$

また両系列試料についてえた比熱測定結果のうち加工度  $\ln h_0/h = 0.048$  および  $0.038$  (ただし  $h_0$ : 加工前試験片の高さ  $h$ : 加工後試験片の高さ) の試験片について比熱対温度曲線にて示せば Fig. 5 のごとくなる。これらの測定結果よりつぎの事柄が確認される。

(1) 蓄積エネルギーは 2 段に分れて放出される。

(2) 蓄積エネルギーの各放出段階の温度は加工度が増すにしたがつて多少降下する。

(3)  $\left\{ \log \frac{\text{加工前の}}{\text{加工後の}} \right.$

試験片の高さ ( $h_0$ ) } の加  
 試験片の高さ ( $h$ ) }

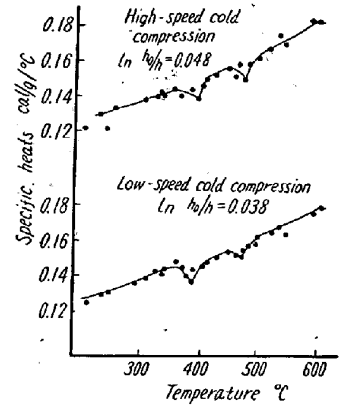
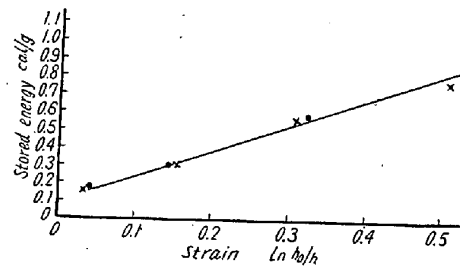


Fig. 5. Specific heats vs. temperature curves.

対する割合は低速加工で平均 7.6% 高速加工で平均 4.5% になった。なお蓄積エネルギー量および加工に要した仕事エネルギーに対する割合は Table 1 に示す。

(4) 蓄積エネルギーは Fig. 6 に示すごとく  $\log(h_0/h)$  に比例して増す。



● high-speed compression.  
 × low-speed compression.

Fig. 6. The compression of the stored energies by high-speed cold compression and by low-speed one.

(5) 蓄積エネルギーは同一加工度でも Fig. 6 に示してあるように衝撃加工の方が遅い加工よりやや大きいように思われるが本実験の精度では確定しえなかつた。

#### IV. 考 察

蓄積エネルギーは堆積転位により蓄えられていると考える。まず、堆積転位グループ内の転位の相互作用エネルギー ( $\delta W'$ ) は Storh<sup>1)</sup> によれば次式で与えられる。

$$\delta W' = \sum_i (R/x_i) + \sum_{i>j} \ln (R/x_i - x_j) \dots \dots \dots (1)$$

ただし  $\delta W'$ : グループ内の転位の相互作用エネルギー

$R$ : 転位応力が 0 になるまでの応力野で転位グループ間の距離にくらべて大きいと仮定する。

なお原点にある固定転位に垂直な切り面の中に  $x$  軸を

Table 1. Stored energy.

Cold working methods	Strain $\frac{h_0-h}{h} \times 100$	Stored energy cal/g	Stored energy / Worked energy $\times 100$	Average value
Static compression	8.7	0.168	10.1	7.6%
	30	0.312	7.95	
	51.3	0.562	7.0	
	69.2	0.77	5.3	
Dynamic compression	10.4	0.18	5.9	4.5%
	29.4	0.295	3.9	
	52.8	0.575	3.6	

とる。(1)式は Szego<sup>2)</sup>の式中の  $n$  を大きくした場合は

$$\delta W' = \frac{1}{2} n^2 \ln(Re^{\frac{1}{2}}/n) - \frac{1}{2} n \ln R - \frac{1}{12} \ln n + \dots (2)$$

となる。転位の形式エネルギー ( $\delta W''$ )

$$\delta W'' = \frac{1}{2} n \ln(R/r_0) \dots (3)$$

および堆積転位グループ間の相互作用エネルギー ( $\delta W'''$ )

$$\delta W''' = \frac{n^2 b^2 G L^1}{4\pi(1-\nu)} \ln\left(\frac{2L}{R}\right) \dots (4)$$

の和として求められる。ただしグループ間の相互作用エネルギーはグループ1カについて求めたので  $n$ : 転位の数,  $G$ : 剛性率,  $b$ : バーガースベクトル,  $L^1$ : 転位の長さ,  $L$ : じり帯の長さ, を表している。

また仕事に要したエネルギーと蓄積エネルギーの割合は結局

$$\frac{\delta W_0}{\delta W} = \frac{\sigma_0}{2\sigma} \ln\left(\frac{4e^{\frac{1}{2}}\sigma}{\sigma_0}\right) \dots (5)$$

となる。ただし  $\delta W$ : 仕事に要したエネルギー,  $\delta W_0$ : 蓄積エネルギー,  $\sigma$ : 外応力,  $\sigma_0$ : 転位中心における応力である。ところが, Mott<sup>3)</sup>の立方晶系に対する応力歪曲線式によれば, 応力と歪との関係

$$\sigma = (G\sigma_0/2\pi)^{\frac{1}{2}} \epsilon^{\frac{1}{2}} \dots (6)$$

で表わされる。本研究の場合には(6)式中の  $G$  および  $\sigma$  はそれぞれ  $G=11.6 \times 10^{11}$  dyn/cm<sup>2</sup> で  $\sigma \sim 8 \times 10^9$  dyn/cm<sup>2</sup>,  $\epsilon \sim 0.3$  を与える故  $\sigma/\sigma_0$  はつぎのごとくなる。すなわち  $\sigma_0 = 1.15 \times 10^9$  dyn/cm<sup>2</sup> で  $\sigma/\sigma_0 = 7$  となる。いまこの値を(5)式に代入すると,  $\delta W_0/\delta W = 0.138$ , すなわち  $\delta W_0/\delta W = 13.8\%$  である。

○上記計算値の 13.8% に対し本実験の結果では低速加工では, 蓄積エネルギーと仕事エネルギーの比は 7.6% で比較的近い一致をみた。

つぎに静的加工と衝撃的加工による蓄積エネルギーの違いについては, 顕微鏡で見られた双晶形式によるエネルギーの違いが静的と動的加工による蓄積エネルギーの違いであると仮定していかほどの大きくなるかを計算してみる。

Bragg<sup>4)</sup>がじりに対して取り扱ったとおなじ方法を双晶形成機構に応用してみよう。

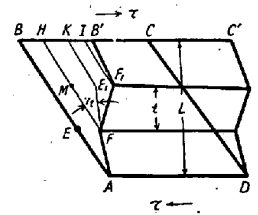


Fig. 7. Twin

双晶が発生した結晶の歪エネルギーを  $Ut$  とすると, Fig. 7 より

$$Ut = \frac{G}{2} \left(\frac{2EF}{L-t}\right)^2 V \left(\frac{L-t}{L}\right) + \frac{G}{2} \left(\frac{E_1 F_1}{t}\right)^2 V \times \frac{t}{L} V \dots (1)$$

$E_1 F_1/EF = 2t/L-t$  であるから(1)式は

$$Ut = \frac{G}{2} \left(\frac{2EF}{L-t}\right)^2 V \dots (2)$$

$$BB' = BH + HK + KI + IB = 2 \frac{EF}{L-t} \times L + r_t t \dots (3)$$

ここで  $r_t$  は双晶により生じた剪断歪の量である。

(3)を(2)に代入すると

$$Ut = \frac{G}{2} \left[ \frac{BB' - r_t t}{L} \right]^2 V \dots (4)$$

$BB'$ の臨界量は  $U_0 = U$  とおく。  $U_0$  は元の歪エネルギーで Bragg によると

$$U_0 = \frac{G}{2} \left(\frac{BB'}{L}\right)^2 V \dots (5)$$

$$\therefore BB' = r_t t / 2 \dots (6)$$

で与えられる。ところが本実験の場合においては  $G=11.6 \times 10^{11}$  dyn/cm<sup>2</sup>  $= 19 \times 10^3$  cal/cm<sup>3</sup>,  $r_t$  は  $\{112\}$ 上の双晶として求めると  $r_t = 0.707$ 。  $t$  は  $2.5 \times 10^{-4}$ cm の厚みありとする。これはモザイクブロックの大きさに相当している。  $L$  は双晶結晶粒の大きさであり  $L = 8 \times 10^{-2}$ cm とおけるため, これらの数値を(4)

註 金敷に吸収されるエネルギーは, 金敷と錘の重さの比が50であるから, 反撥係数 1.15 とすると, 加工エネルギーの 3% 以下となる故無視した。

式に代入して双晶エネルギーを求めることができる。すなわち  $Ut = 1.15 \times 10^{-3} \text{ cal/cm}^3$

また試験片の比重は約 7.8 なる故加工試験片  $1 \text{ cm}^3$  の双晶の量  $(t \times L) \times 100$  (双晶の数平均 100ヶ/cm<sup>3</sup>) とすれば, 1g 中に含まれている双晶による蓄積エネルギーは  $1.15 \times 10^3 / 7.8 \times 100 = 1.555 \times 10^{-2} \text{ cal/g}$  となる。すなわちこの値は本測定では確定しえないものである。(昭 31-7 月寄稿)

## 文 献

- 1) A. N. Stroh: Proc. Royal Society 218 (1953) 391
- 2) G. Szegő: Orthogonal Polynomials. American Society colloqui publica. 1939. 138.
- 3) N. F. Mott: Phy. Magazine 43 (1952) 1151
- 4) W. L. Bragg: Nature 511 (1942) 147

## 鋼中に含有される非金属介在物に関する熱力学的研究(II)\*

(Ti, Zr, V の窒素化物および炭化物の挙動とそれらのオーステナイト結晶粒度におよぼす影響)

沢 村 宏\*\*・盛 利 貞\*\*\*

## THERMODYNAMIC INVESTIGATION OF NON-METALLIC INCLUSIONS IN STEEL (II)

(Behavior of Titanium-, Zirconium-, and Vanadium-Nitrides and Carbides and Their Effect on Austenitic Grain Size of Steel)

Hiroshi Sawamura, Dr. Eng. and Toshisada Mori, Dr. Eng.

## Synopsis:

When titanium (zirconium or vanadium), nitrogen and carbon are contained in steel, nitride and (or) carbide of the element are formed according to the degree of stability of these compounds. The free energy equations of the formation of nitrides and carbides in steel are derived by the same method described in the previous report (Tetsu to Hagane (1955) vol. 41, No. 10, p. 1082). The equilibrium relations of the formation of titanium-, zirconium- and vanadium-nitrides and carbides are calculated by these equations in several cases of different contents of these elements. According to the results of calculation, both titanium-(zirconium-) nitride and carbide are estimated to be effective as grain growth inhibitors, but inclusions which are precipitated in austenite may be considered to be more effective as inhibitors than those in molten steel. Vanadium nitride may also be effective as the inhibitor but there remains some uncertainty. Vanadium carbide 'VC' does not precipitate in steel while 'V<sub>4</sub>C<sub>3</sub>' may precipitate in austenite and may be effective as the inhibitor.

## I. 緒 言

前報<sup>1)</sup>において著者らは鋼中に生成する Al, Si, Fe の窒化物についてこれらの元素の含有量とその窒化物の生成量との関係を熱力学的数値を用いて計算しオーステナイト結晶粒の微細化に対する非金属介在物の諸条件について考察した。本報告においては Ti, Zr, V の窒化物および炭化物について検討したのでその結果について述べる。

## II. 化学反応式およびその自由エネルギー式の算出法

非金属介在物の生成に関する自由エネルギー式がすでに知られているものはこれを用い、未知の反応に対して

\* 昭和 30 年 10 月 日本鉄鋼協会講演大会に発表

\*\* 京都大学教授, 工博

\*\*\* 京都大学助教授, 工博