

Fig. 2. The relation between cementite content and holding time at each quenching temperature (SKF tube):

SKF の材料は 840°C の焼入温度では 50 mn の保持温度で Fe<sub>3</sub>C 量は約 7.5% であり、それ以上 3h まで Fe<sub>3</sub>C 量は一定である。筆者は熱処理後に残存する Fe<sub>3</sub>C 量が約 7.5% の時に寿命が最大であると報告したが、SKF の材料では上記の理由により 840°C を焼入温度に選ぶのが良い。国内の軸受用パイプ材についての結果は講演の際報告する。若し Fe<sub>3</sub>C のオーステナイト中への固溶速度が拡散現象であるならば、この現象は rate of the form の式にて良くあらわされる筈である。ここに rate of the form の式を示せば、

$$\frac{df}{dt} = K(1-f)t^m \dots \dots \dots (1)$$

*f*: fraction transformed.  
*t*: time.  
*K*: rate constate (temperature dependent)  
*m*: constant.

今、*y* を *t* 時間における反応量、*a* を反応が平衡に達した時までの全反応量とすると (1) 式は、

$$\frac{dy}{a-y} = Kt^m dt \dots \dots \dots (2)$$

となる。(2) 式を積分すると次の (3) 式が得られる。

$$\log \log \frac{a}{a-y} = (m+1) \log t + \log \frac{K}{2 \cdot 3(m+1)} \dots \dots \dots (3)$$

この式で、実験的に *a*, *y*, *t* は Fig. 2 より求められるので、log log *a/a-y* を縦軸にとり、log *t* を横軸にとると、直線的関係を示す。800°C における固溶曲線を (3) 式でグラフすると直線的関係を示すが、820°C と 840°C と 860°C とにおいては直線的関係を示さず、且又 3つの曲線が重複している。以上のことより 820°C、840°C、860°C における Fe<sub>3</sub>C の固溶現象は簡単な拡散現象でなく、Fe<sub>3</sub>C の組成、大きさ、分布及び Fe<sub>3</sub>C の界面エネルギー等のからみあつた複雑な現象であろうと考えられる。

(3) 破断面の粗さについて： 我国では未だ P. F. test の如き焼入破断面の粗さを測定する場合の粗さの標準片が制定されていない。それで筆者はアポット・プロフィールメーターを使用して、焼入試料の破断面の粗さを測定した。今、800°C より焼入した試片の破断面の粗さと保持温度との関係は Fig. 3 の如くである。いずれの

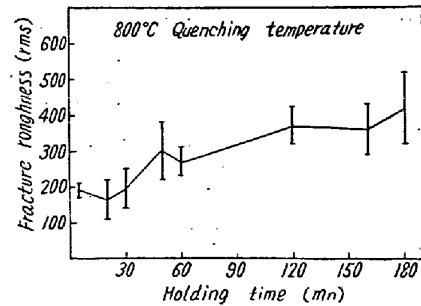


Fig. 3. The relation between fracture roughness and holding time at 800°C quenching temperature. (SKF tube)

試片の破断面も迂り破断面であるが、保持時間の増加と共に粗さが悪くなる傾向を示している。他の焼入温度の場合は講演の際に詳しく報告する。

文 献

- 1) 上野, 三橋, 中野; 鉄と鋼, 41 (1955), 1102.
- 2) 上野, 中野; 鉄と鋼, 41 (1955), 1179.
- 3) E. C. Bain; Function of the alloying elements in steels, (1940), 114.
- 4) 小門; 日本機械学会誌, 31 (1928), 954.
- 5) 川口寅之輔; 日本金属学会誌 B, 15 (1951), 213~215.

(56) 軸受鋼の研究 (VI)

(積分強度法による残留オーステナイトの X 線の定量)

Studies on Ball Bearing Steels (VI)

(X Ray Determination of Retained Austenite by Integrated Intensities)

Manabu Ueno, et alii

工業技術院機械試験所 ○工 上 野 学  
 工 三 橋 鉄 太 郎  
 中 野 泰

I. 緒 言

残留オーステナイトの定量法としては次の2つが考え

られる、即ち (1) 顕微鏡組織による定量<sup>1),2)</sup> と (2) X線<sup>3),4),5)</sup> による定量とである。前者は残留オーステナイトを白く、マルテンサイトを黒くエッチして、顕微鏡下で Point-Counting か Lineal analysis で定量する。この方法では残留オーステナイトが 15% 以上のものでは割合に簡単に定量可能であるが、15% 以下では正確な定量が不可能である。軸受鋼の如く、焼入した状態では白色の球状セメンタイトが残存しているものでは、組織による定量は不可能である。後者では M. I. T の Cohen 教授のもとで一連の研究結果が報告<sup>3),4),5)</sup> されている。この積分強度法では岩塩の単結晶を用いて単色 X 線を取りだしているが、我国の様な湿気の多い国では岩塩の単結晶を用いることが出来ないので、LiF の単結晶を用いて単色 X 線を発生させて、積分強度法による X 線の定量を行つた結果を報告する。

## II. 積分強度法による残留オーステナイトの定量

マルテンサイトと残留オーステナイトが共存している試料に X 線をあてると Bragg の法則にしたがつて廻折線が生ずる。各 Bragg angle における廻折線のエネルギーは、一定のカメラで一定の露出条件のもとでは、次の式で表わされる、

$$P_{\alpha} = \text{const.} \cdot \frac{1}{v_{\alpha}^2} F^2 m (L. P.) e^{-2M} V_{\alpha} A(\theta) \dots\dots\dots (1)$$

$$P_{\alpha} = \text{const.} \cdot R V_{\alpha} A(\theta) \dots\dots\dots (2)$$

ここで、 $P_{\alpha}$  = 物質  $\alpha$  の特定廻折線に対する廻折線の単位長さ当りの強度 (任意の単位)

$v_{\alpha}$  = 物質  $\alpha$  の単位胞の容積 (単位 =  $kX^3$ )

$F$  = 単位胞当りの構造因子

$m$  = 廻折面の多重度

(L. P.) = Loreng と偏光因子

$e^{-2M}$  = Debye-Waller の温度因子

$V_{\alpha}$  = X 線の照射した部分の物質  $\alpha$  の容積 (単位 =  $cm^3$ )

$A(\theta)$  = 試料の吸収因子

$\theta$  = ブラグ角

今物質  $\alpha$  をマルテンサイトとすると、残留オーステナイトの各廻折線についても  $V_{\alpha}$ ,  $v_{\alpha}$  を  $V_r$ ,  $v_r$  と書き換えると上式 (1) で示される。各廻折線に対する  $v$ ,  $F$ ,  $m$ , (L. P.),  $e^{-2M}$  の因子は Taylor<sup>4),6)</sup> の表より、計算し得るので、これらの積を R で示す。すると (1) 式は (2) 式にて示される。この (2) 式で  $V$  が未知数

であり、 $A(\theta)$  は試料の幾何学的形状にてきまる。平たい面の試料であつて、照射角を  $\phi$  とすると  $A(\theta) = \frac{\alpha}{\mu} \cdot \frac{\sin(2\theta - \phi) \sin \phi}{\sin(2\theta - \phi) + \sin \phi} = \frac{\alpha}{\mu} \cdot A'(\theta) \dots\dots (3)$  式で示される。

ここで、 $\alpha$  = スリットを通つた X 線ビームの断面積

$\mu$  = 試料に対する平均線吸収係数

一定の露出条件では、 $\phi$  は一定にするから、 $A'(\theta)$  は  $\theta$  の変化のみで変化する。今、 $\phi = 60^\circ$  とする。 $\alpha$ ,  $\mu$  は一定の露出と一定の試料では一定であるから、 $A(\theta)$  と  $\theta$  の関係は Fig. 1 の形にて示される。

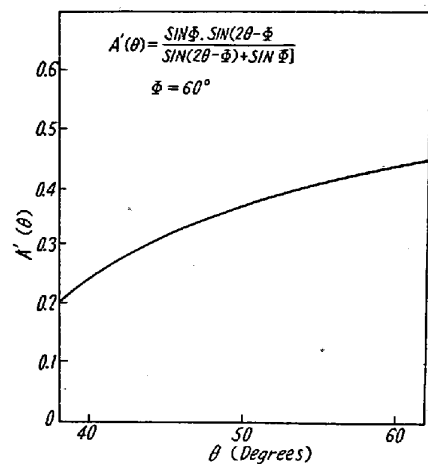


Fig. 1. Variation of absorption factor  $A'(\theta)$  with diffraction Angle for A plate sample.

次に  $\frac{V_{\alpha}}{V_r}$  の比を求めるために、各廻折線をマイクロフロットメーターした後に、その各線の面積を求めると、それが積分強度 ( $P$ ) に比例する。 $R$  は各廻折線について一定である故、 $P/R$  が実験的に求められる。これからそれぞれマルテンサイト線に対する  $V_{\alpha} \cdot A(\theta)$ 、残留オーステナイト線に対する  $V_r \cdot A(\theta)$  が求められる。今、マルテンサイトからのすべての廻折線に対して  $V_{\alpha}$  は一定であるので、 $V_{\alpha} A(\theta)$  対  $\theta$  の曲線は Fig. 1 に示される曲線と同じ曲線を示す筈である。同じ様に、残留オーステナイトに関する  $V_r A(\theta)$  対  $\theta$  の曲線も Fig. 1 に示される曲線と同じ形を示す。それで、 $r$  曲線と  $\alpha$  曲線の縦軸の相異は  $V_r$  と  $V_{\alpha}$  の違いにもとづくのである。故に  $r$  曲線を  $\alpha$  曲線に重複させるには  $r$  の縦軸を何倍したらよいかという値が  $V_{\alpha}/V_r$  となる。 $V_{\alpha}/V_r$  より  $\alpha/r$  の容積比が求められる。軸受鋼の焼入したものでは  $Fe_3C$  が存在するので、 $\alpha + r = 100 - Fe_3C$  (容積%) が成立つ。それで前の  $\alpha/r$  の値より、 $r$  が求められる。

Table 1. Analysis of steels

Type	Code	Weight, percent								
		C	Si	Mn	S	P	Cr	V	Ni	Cu
SKF tube	SKF	1.02	0.29	0.31	0.019	0.025	1.47	0.06	tr	0.03
Acid open hearth steel	H	1.02	0.42	0.53	0.013	0.016	1.58	—	0.10	0.12
Basic electric f'ce steel	R	0.98	0.32	0.41	0.005	0.011	1.37	—	0.31	0.22
Ball-bearing steel	K	0.99	0.29	0.32	0.014	0.002	1.34	—	—	—

### III. 実験方法と実験結果

実験に供した試料はいずれも軸受鋼であり、Table 1 に示すような組成を有する。SKF, R, H の記号の試料については焼入温度が高くなるにつれて如何に残留オーステナイトが増加するかを示し、Kの記号の試料については  $-175^{\circ}\text{C}$  の温度にサブゼロ処理した時の残留オーステナイトの挙動を示す。

平面の岩塩の単結晶で単色 X 線を発生させると、 $\text{CoK}_{\alpha}$  の強度が非常に弱くなつて、露出時間が 24 h も必要とする。然し LiF のカット面を使用すると、Filter を使用した場合の 1/2 程度の強度だけですむ。この実験では露出時間が 2 h~4 h の程度であつた。この単結晶を使用する理由は白色 X 線では連続的な Background を生じ弱い強度の廻折線（オーステナイト）を Film にあらわさないからである。

X 線の Target は Co であり。この白色 X 線より Fig. 2 の如く LiF の単結晶で  $\text{CoK}_{\alpha}$  だけを取り出し、平面の試料に  $60^{\circ}$  の照射角であてる。

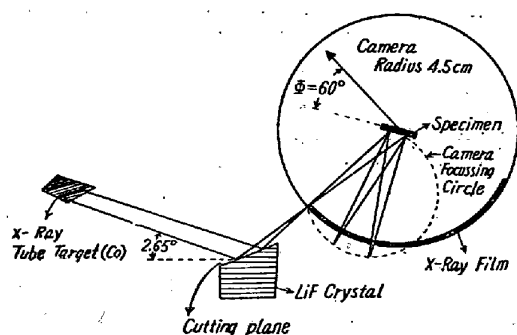


Fig. 2. Arrangement of LiF crystal monochromator, Debye camera, and specimen for X-Ray exposures.

使用した X 線フィルムは Eastman kodak の No-screen film であり。このフィルムは黒化度 1.5 までは黒化度と強度とは直線的関係を示す。それで実験では大体黒化度 1.2 以下にあるようにした。

次に、K の試料は  $840^{\circ}\text{C} \times 1/2 \text{ h}$  → 油焼入した後に、

直ちに  $-175^{\circ}\text{C}$  にサブゼロ処理して  $150^{\circ}\text{C}$  に焼戻したもので、このマイクロフォトメーターの写真は Fig. 3 (b) (図省略会場で掲示) に示されている。これからも明らかな様にサブゼロ処理にて残留オーステナイトが分解しているために、オーステナイトの廻折線の強度が著しく弱くなつている。この残留オーステナイト量を Table 2 の如き方法で求めると約 2.5% となる。他の試料については講演の際に報告する。

### 文 献

- 1) Robert T. Howard & M. Cohen; A. I. M. E. (1947) Technical Publication No. 2215.
- 2) 三橋, 上野; 鉄と鋼, 39 (1953) 722.
- 3) Frank K. Gradner, M. Cohen & Dara. P. Antia; A. I. M. E. 154 (1943) 306.
- 4) B. L. Averbach & M. Cohen; A. I. M. E. (1948) Technical Publication No. 2342.
- 5) B. L. Averbach, L. S. Castleman & M. Cohen; Trans. A. S. M. 42 (1950) 112.
- 6) A. Tayler; An introduction to X-ray metallography, (1943) John Wiley and Sons.