

## 文 献

- 1) 中島: 鉄と鋼, 46 (1960), 967~972
- 2) H. SCHOTTKY, K. SCHICHEL & R. STOLLE:  
Arch. Eisenhüttenw., 4 (1930~31), 541~547
- 3) 大竹, 石崎, 江口: 製鉄研究, 223 (1958), 2055~2057
- 4) R. EBORALL & P. GREGORY: J. Inst. Metals,  
84 (1955~56), 88~90
- 5) W. D. ROBERTSON: J. Metals, 3 (1951), 1190
- 6) C. S. SMITH: A.I.M.E. Institute of Metals  
Division (1948), 15~51
- 7) D. MCLEAN: "Grain Boundaries in Metals",  
Oxford. (1957), 99~100
- 8) K. K. IHEUYE & C. S. SMITH: Metals  
Transactions, 185 (1949), 762~768
- 9) L. H. VAN VLACK: J. Metals, 3 (1951), 251  
258

## 混粒判定の一方法について\*

美馬源次郎\*\*・川井 俊彦\*\*\*・荻野 喜清\*\*\*

## Theoretical Analysis of Duplex-Grain Structure.

Genziro MIMA, Toshihiko KAWAI and Yoshikiyo OGINO.

## Synopsis:

There has been no method to distinguish exactly and conveniently whether materials are composed of grains of uniform size or grains of mixed sizes. The authors analysed theoretically the size and its distribution of the grains appeared on a sectional plain of the material and presented a method for that purpose, and then experimentally confirmed this method to be suitable one.

According to the authors' calculation, when the material are composed of grains of uniform size, on a sectional plain of the material, the percentage of area (R), occupied by grains having the area ranged from the area of large circle of the grain to its 75%, must be nearly 70%. Then if the measured value is nearly 70%, the material may be defined to be composed of grains of uniform size, and, if not, grains of mixed sizes.

Experimental results indicates that the above consideration is correct, i.e., the measured value of R on a sample of carbon steel, which is confirmed to be duplex-grain structure by three dimensional measurement, is only a few percent.

## I. 結 言

鉄あるいは非鉄を問わず、少なくとも横造用金属材料においては、結晶粒子の大きさが適当であり、かつ大きさが均斉であるということは、必ず要求される性質の一つである。たとえば、焼入用鋼材においては、オーステナイト結晶粒子の大きさが増すと、冷却にさいして「オーステナイト」→「マルテンサイト」変態が起りやすくなるために焼入れを必要とする鋼には、一般に、オーステナイト結晶粒子の大きいものが選ばれ、電弧溶接するような場合には熱影響部に焼きが入り難く、かつ接手に適当な機械的性質を付与する目的で被熔接鋼材(低合金鋼)の種類に応じてオーステナイト結晶粒度を適当に指定する。また深絞りあるいは成形加工する真鍮、アルミニウムなどにおいては、結晶粒子の大きさが大きければ、加工後の表面が粗になるため、製品の仕上り表面を美しく

する目的には結晶粒子の大きい材料は好まれない(もちろんこの場合には結晶粒子の大きさは機械的性質にいちじるしく関係する。) また耐クリープ性をよくするには結晶粒子を大きく選ぶ。

さて、現行の学振法および A.S.T.M. 法などの結晶粒度測定法は、いずれも、材料が整粒の場合にのみ適用できるもので、混粒の場合には測定値は無意味となる。しかるに材料が、整粒か、混粒かを簡単に、かつ明確に判定する方法がまだ確立されておらず、直観にたよつて判断している状態である。したがつて粒度測定に供した材料が、たとえ整粒であつても、確かに整粒であるという証明がなく、また直観的には混粒であつても、確かに

\* 昭和 35 年 4 月 本会講演大会にて発表

\*\* 大阪大学工学部 工博

\*\*\* " 大学院

混粒であるといいうる根拠がない。また、三次元的な結晶集合体を、任意の平面で切つた場合には、たとえ整粒材料でも、断面上にはいろいろの大きさの結晶粒子断面が現われることになる。従つてその結果から、整粒か混粒かを判断することは困難である。そこで混粒の度もさることながら、まず材料が確かに整粒、あるいは混粒であるといいうる判定方法が望まれるわけである。

混粒の判定法に関する計算は堀川<sup>1)</sup>の発表がある程度で、この種の研究は見られない。ここにおいて著者らは材料が混粒か、整粒かを確実に判定する方法として簡単な理論を考え、それを確める実験を行なつた。

## II. 整粒と混粒との判定基準の設定

材料が一様な大きさの結晶粒子より構成されている場合には、材料の断面において現われる結晶粒子断面の大きさは、一定の分布関数にしたがつた分布をなしていなければならない。したがつて、実測値がその分布と一致した場合が整粒で、その分布状態にしたがわない場合は混粒と見なしてよい、というのが著者らの基本的な考え方である。E. C. BAIN<sup>2)</sup> および W. M. WILLIAMS<sup>3)</sup> などの研究によれば、金属を構成する結晶粒子の形状は、一般に複雑な多面体である。また整粒といつても結晶粒子の大きさは、まったく等しくはなく、ある程度の大きさの広がりをもつものであるが、理論を簡単にするために、整粒材料を構成する各結晶粒子が均一な大きさの真球であると仮定する。

今この真球である結晶粒子の半径を  $r_0$ 、その大円面積を  $a_0$  とする。そしてその大円面の中心に垂直な半径方向に、 $x_1, x_2, \dots, x_n$ 、の距離において、その大円に平行に切つた切円の面積を  $a_1, a_2, \dots, a_n$ 、とし、 $a_1/a_0 = a_2/a_1 = \dots = a_n/a_{n-1} = \rho$  と仮定すれば、大円から  $k$  番目の切円までの距離  $x_k$  は、 $x_k = r_0(1 - \rho^k)^{1/2}$  となり、真球結晶粒子の集合体を任意の一断面で切つたときに、その断面上に  $k$  番目と  $k-1$  番目の間の大きさの切円が現われる確率  $P_k$  は、

$$P_k = (x_k - x_{k-1})/r_0 = (1 - \rho^k)^{1/2} - (1 - \rho^{k-1})^{1/2} \dots\dots\dots (1)$$

となる。

また、上記 2 切円間の容積を  $V_s$  とすれば、2 切円間の平均切円面積  $\pi r_m^2$  は

$$\pi r_m^2 = V_s / (x_k - x_{k-1}) = \int_{x_{k-1}}^{x_k} \pi (r_0^2 - x^2) dx / \left\{ (1 - \rho^k)^{1/2} - (1 - \rho^{k-1})^{1/2} \right\}$$

$$= \frac{\pi r_0^2 \left[ \frac{\{(1 - \rho^k)^{1/2} - (1 - \rho^{k-1})^{1/2}\}}{-1/3\{(1 - \rho^k)^{3/2} - (1 - \rho^{k-1})^{3/2}\}} \right]}{(1 - \rho^k)^{1/2} - (1 - \rho^{k-1})^{1/2}} \dots\dots (2)$$

となる。また、 $k = 1$  の場合の切円の平均面積、すなわち、大円の面積と、大円面積の  $\rho$  倍の面積の切円との間の大きさの切円の平均面積は (2) 式において、 $k = 1$  とすることにより

$$\pi r_m^2 = \frac{\pi r_0^2 (2 + \rho)}{3} \dots\dots\dots (3)$$

となる。

つぎに、真球結晶粒子の集合体の任意の断面上の一定面積内において、そこに現われる、 $k-1$  番目の切円と  $k$  番目の切円との間の大きさの切円 (結晶粒子) のすべてが占める面積の割合  $R$  は

$$R = \pi r_m^2 \cdot p_k / \sum_{k=1}^{\infty} \pi r_m^2 \cdot p_k \dots\dots\dots (4)$$

となる。 $\sum_{k=1}^{\infty} \pi r_m^2 \cdot p_k$  は、全切円の平均面積に確率 1 をかけたものに等しいから  $2\pi r_0^2/3$  (= 半球容積/ $r_0$ ) となる。したがつて、(4) 式に (1)、(2) 式を代入すると、 $R$  は、

$$R = 3/2 \left[ (1 - \rho^k)^{1/2} - (1 - \rho^{k-1})^{1/2} - 1/3 \left\{ (1 - \rho^k)^{3/2} - (1 - \rho^{k-1})^{3/2} \right\} \right] \dots\dots (5)$$

となる。(5) 式において  $k = 1$  なる特別な場合、すなわち大円面積から大円の  $\rho$  倍の面積までの大きさの面積をもつ切円のすべてが占める面積の全面積に対する割合は

$$R = 1/2(1 - \rho)^{1/2}(2 + \rho) \dots\dots\dots (6)$$

となる。一般的には (5) 式において、 $k$  および  $\rho$  に所望の任意の数値を代入すれば、任意の  $k$  番目と  $k-1$  番目の切円 (面積は  $a_0\rho^k$  および  $a_0\rho^{k-1}$ ) の間の大きさの切円のすべてが占める面積の全面積に対する割合を求めることができる。

今かりに、 $\rho = 0.8$  として  $k$  の各値について  $R$  を計算した結果を Table 1 に、また、 $k-1$  として  $\rho$  の各値についての  $R$  の計算結果を Table 2 に示す。Table 1 は等しい大きさの真球結晶粒子の集合体の任意の一断面において、真球大円面積の  $0.8^k$  倍、および  $0.8^{k-1}$  倍の間の大きさのすべての結晶粒子断面が占める面積の全面積に対する割合を示しており、Table 2 は、大円面積から大円面積の  $\rho$  倍までの大きさのすべての結晶粒子断面が占める面積の全面積に対する割合を示している。

これらの数値は、材料が等しい大きさの真球結晶粒子から構成されている場合にあてはまるものであるが、実

Table 1. Calculated values of  $R$  ( $\rho=0.8$ )

$k$	1	2	3	4	5	6	7	8
$R \times 100(\%)$	62.2	16.9	8.7	4.6	2.9	1.5	1.1	0.6
$\sum_{k=1}^k R \times 100(\%)$	62.2	79.1	87.8	92.4	95.4	96.8	97.9	98.5
$\frac{\pi r_m^2}{\pi r_0^2} \times 100(\%)$	93.3	72.4	59.1	46.2	36.9	29.4	23.6	18.9
$\rho^k \times 100(\%)$	80.0	64.0	51.2	41.0	32.8	26.2	21.0	16.8

Table 2. Calculated values of  $R$  ( $k=1$ )

$\rho$	0.75	0.5	0.25	0
$R \times 100(\%)$	68.8	88.4	97.4	100.0
Difference		19.6	9.0	2.6
$\frac{\pi r_m^2}{\pi r_0^2} \times 100(\%)$	91.7	83.3	75.0	66.7

際の整粒材料においても、結晶粒子が等軸の場合には、大差はないと考えてよいであろう。それゆえ、実際の材料において実測した結果が(5)式によつて与えられる理論値にほぼ等しければ、その材料は整粒と判定できるし、理論値より偏寄しておれば、混粒と判定することができる。実測のさいに、大円面積としては、顕微鏡視野内あるいは顕微鏡写真上に現われる最大の結晶粒断面面積をとればよい。判定基準としては  $k=1$  としたときの、どれか適当な一つの  $\rho$  および  $R$  をとれば充分である。しかして後述のごとく、 $k=1$  のときは混粒材料についての  $R$  の実測値は理論値よりも常に小さな値となる。 $k > 1$  のときは、 $k$  および  $\rho$  の値によつて理論値より大にも小にも、また等しくなることもある。

そこで、いま判定基準として  $R$  が比較的簡単な数値となる。 $\rho=0.75$ ,  $R=0.69$  ( $k=1$ ) をとるならば、顕微鏡視野内あるいは顕微鏡写真上に現われる結晶粒子断面のうち最大のものの面積を、その材料を構成する結晶粒子の大円面積とみなして、その面積の75%以上の大きさの面積を有する結晶粒子断面のすべてが占める面積の全面積に対する割合を測定し、それが約70%であればその材料は整粒材料であると判定できるし、70%以下であれば、混粒と判定することができる。

つぎに、混粒材料についての  $R$  の実測値の整粒の場合に該当する理論値よりの偏り方について考える。

いま、混粒材料を構成する結晶粒子が、その大円面積が  $a_{01}$ ,  $a_{02}$ , ...,  $a_{0n}$  (ただし  $a_{01} > a_{02} > \dots > a_{0n}$ ) なる  $n$  種類の大きさのグループに分類できるとし、材料断面において断面積  $S$  を大きさの異なる  $n$  種類の結晶粒

子グループのそれぞれに属する結晶粒子の断面が占める面積  $S_1, S_2, \dots, S_n$  ( $S=S_1+S_2+\dots+S_n$ ) に区分したと仮定する。そこで、この材料断面において測定した  $R$  の実測値を  $R'$  とすると、 $R'$  は、 $a_{01}\rho^k$  と  $a_{01}\rho^{k-1}$  との間の大きさの結晶粒子断面が占める面積の全面積に対する割合を、 $S_1, S_2, \dots, S_n$ , なる各面積領域で、それぞれ独立に測定したときの値  $R_1, R_2, \dots, R_n$  とつぎの関係にある。

$$R' = \frac{S_1 R_1 + S_2 R_2 + \dots + S_n R_n}{S} \dots (7)$$

また、測定面に現われた大円面積  $a_{01}$  の最大結晶粒子の断面の数が十分に多ければ  $R_1$  は近似的に整粒の場合の理論値に等しくなるから、整粒理論値  $R$  と混粒の実測値

$R'$  との差は

$$R - R' = \frac{(S_1 + S_2 + \dots + S_n)R_1 - (S_1 R_1 + S_2 R_2 + \dots + S_n R_n)}{S} = \frac{S_2(R_1 - R_2) + S_3(R_1 - R_3) + \dots + S_n(R_1 - R_n)}{S} \dots (8)$$

となる。また、 $R_1, R_2, \dots, R_n$  を  $R_p$  ( $p=1, 2, 3, \dots, n$ ) と表わすと、 $R_p$  は、 $a_{01}\rho^{k-1} \leq a_{0p}$  なる関係がみたされる面積領域  $S_p$  においては、 $a_{01}\rho^k = a_{0p}\rho^{kp}$  なる  $k_p$  で測定した  $R$  の値になる。しかしてこのとき、 $\rho < 1$ ,  $a_{01} > a_{02} > \dots > a_{0n}$  であるから、 $k_p$  は  $k_1 > k_2 > \dots > k_p$  ( $k_1 = k$ ) なる関係にあり、また  $k$  が増加すると  $R$  は減少するから、 $R_p$  は  $R_1 < R_2 < \dots < R_p$  なる関係にある。また、 $a_{01}\rho^k > a_{0p}$  なる関係がみたされる面積領域  $S_p$  においては、 $R_p = 0$  となる。したがつて、 $a_{01}\rho^k > a_{02}$  となるように  $\rho$  および  $k$  をえらぶならば、 $R_2 = R_3 = \dots = R_n = 0$  となるゆえ(8)式は正の値をとり、したがつて混粒の実測値は、整粒理論値より小さな値となる。そして  $\rho$  をそのときの  $\rho$  に一定して、 $k$  を、 $k=1, 2, 3, \dots$  と、しだいに大にして、 $R'$  を測定するならば、 $R_1$  が減少するとともに、 $(R_1 - R_p)$  の項が負になるための条件、 $a_{0p}\rho^{k-1} \leq a_{0p}$  が順次みたされていくから、混粒実測値と整粒理論値との差はしだいに減少し、ついには両者は等しくなりそれ以上の  $k$  では逆に混粒実測値は整粒理論値より大になる。しかし変化の過程において  $\Delta(R - R')/\Delta k$  は、正あるいは負となり得る。なぜならば  $|\partial R/\partial k|$  は  $k$  が大になるほど小となるゆえ  $|\Delta R_p/\Delta k_p| \geq |\Delta R_1/\Delta k|$  ( $\Delta k = \Delta k_p$ ,  $k_p < k$ ) となり、 $(R_1 -$

$R_p < 0$  となる条件がみたされたのちは,  $|R_1 - R_p|$  は  $k$  の増大とともに減少するからである. また, 混粒実測値と整粒理論値とが等しくなる  $k$  の値は,  $\rho$  が一定ならば, 混粒材料を構成する結晶粒子の大きさの分布状態および各大きさの結晶粒子の量的関係によつて決定されるものである.

つぎに,  $k=1$  として,  $\rho$  の値を変化したときの, 混粒実測値と整粒理論値との関係を考える. いま,  $k=1$ ,  $\rho=\rho_1$  なるときの  $R$  の理論値は  $\rho > \rho_1$  なる  $\rho$  の一定値にて,  $k=1, 2, 3, \dots$  の各  $k$  について計算した  $R$  の  $\rho_1 = \rho k_l$  なる  $k_l$  までの総和となる. 同様のことが混粒の実測値  $R'$  についても成立つから,

$$R_{k=1 \rho_1} = \sum_{k=1}^{k_l} R_{\rho k} \quad R'_{k=1 \rho_1} = \sum_{k=1}^{k_l} R'_{\rho k}$$

ただし  $\rho_1 = \rho k_l$

$$\therefore (R - R')_{k=1 \rho_1} = \sum_{k=1}^{k_l} (R - R')_{\rho k} \dots (9)$$

となる. しかして, 前記のごとく,  $\rho$  が一定のとき,  $(R - R')_{\rho k}$  は  $k$  が増加すると, 正の値から負の値へ移行するゆえ, (9) 式において  $(R - R')_{k=1 \rho_1}$  は  $k_l$  が  $(R - R')_{\rho k=k_l} > 0$  なる条件を満足する  $k_l$  の小さな値の側から増加するにつれて, したがつて  $\rho_1$  の値が減少するにつれて増加する傾向にあり,  $(R - R')_{\rho k=k_l} = 0$  となる  $k_l$  に相当する  $\rho_1$  において最大となり, 以後  $\rho$  の減少とともに減少する. また,  $k=1$ ,  $\rho=\rho_1$  で測定したとき, (8) 式の  $R_p$  ( $p=1, 2, 3, \dots, n$ ) は,  $a_{o_1} > a_{o_p}$  なる条件が充される面積領域  $S_p$  においては,  $R_p = 0$  となる. また  $a_{o_1} \rho_1 \leq a_{o_p}$  なる条件がみたされるときは,  $R_p$  は  $a_{o_1} \rho_1 = a_{o_p} \rho_p$  なる  $\rho_p$  ( $k=1$ ) で測定した値となり, ここで  $\rho_p$  は  $a_{o_1} > a_{o_2} > \dots > a_{o_n}$  なる関係から,  $\rho_1 < \rho_2 < \rho_3 < \dots < \rho_p$  なる関係にある. したがつて (8) 式の  $R - R'$  は,  $k=1$  のときは  $\rho$  のいかなる値についても正の値をとる.

ゆえに, 混粒材料において,  $k=1$  のときの  $R$ , したがつて  $a_{o_1}$  から  $a_{o_1} \rho$  までの大きさの結晶粒子断面が占める面積の全面積に対する割合を測定したとき, その実測値は  $\rho$  にいかなる値をとつたときも, 常に整粒理論値よりも小となる. かつまた,  $\rho$  が 1 に近い値から小さな値になるにつれて, 混粒実測値と整粒理論値との差は増加し, 特定の  $\rho$  の値において最大となり,  $\rho$  がそれより小になると両者の差は減少する. しかして, 差が最大となる  $\rho$  の値は, 混粒材料を構成する結晶粒子の大きさの分布状態および各大きさの結晶粒子の量的関係によつて決定される.

以上, 材料が整粒か, 混粒かを判定する方法を理論的

に導き考察を行なつたが, のちに実例において示すごとくこれらの関係から混粒の割合をも容易に概算することができる. さてそこで, 上述のごとき判定法が本当に適切なものであるか否かを確かめるために実際の混粒材料を用いて以下の実験を行なつた.

### III. 実 験

(i) 試料: 実験試料としては, 下記成分の炭素鋼 (E 8357) を用いた.

C	Si	Mn	P	S	Cu	Cr
0.32	0.28	0.59	0.008	0.009	0.16	0.06

(ii) 実験方法: オーステナイト結晶粒子の現出には滲炭法を用い, 炭酸バリウム:木炭=4:6 の固体滲炭材中で  $960^\circ\text{C} \times 12\text{h}$  滲炭した. 腐食液はピクリン酸ソーダを用い, 85倍のオーステナイト粒度写真をとつた. 結晶粒子断面の測定には透明グラフ用紙を用いた. すなわち写真上にグラフ用紙をあてがい, 粒内に含まれる  $1\text{mm}^2$  の数を勘定した. 上述の方法で判定後その結果が正しいことを確かめるために, つぎの方法により各結晶粒子の体積を測定して, 結晶粒子の大きさの関係を調べるとともに, 各大きさの結晶粒子の数の割合を測定した. すなわち, 滲炭した試料を表面より約  $20\mu$  エメリーパーペーパーおよびバフにて研磨して, 顕微鏡写真を撮つたのちさらに  $20\mu$  研磨して撮影するという具合に, 研磨と撮影を交互にくり返すことにより, 表面から約  $500\mu$  の深さまで約  $20\mu$  間隔の 30 枚の断面顕微鏡写真を撮つた. つぎに写真上に描いた径  $60\text{mm}$  の円内に含まれる約 100 コの結晶粒子 (断面) の一つずつについて, 各断面写真上でその形状や場所的な関係を比較対照することによりその消長, すなわち, 試料を表面から研るにしたがつて結晶粒子が現われ, そして消える経過を調べ, かつまた各断面写真上で各結晶粒子断面の面積を測定し, その面積と, 試料表面から面積測定面までの距離との関係から, Fig. 2 に例示したごとく, 一つ一つの結晶粒子の立体的な大きさを現出した. そして全測定粒子の体積を Fig. 2 の曲線内の面積をプランメーターで測定し算出することにより求め, 結晶粒子の大きさとの関係を度数分布表にとつた. なお, 約  $20\mu$  ずつの研磨量の測定にはダイヤルゲージを用いた.

(iii) 実験結果: 混粒の判定および結晶粒子体積の測定に用いた顕微鏡写真の一例を Photo. 1 に示す. 写真 (a), (b) は, 約  $20\mu$  間隔の隣接断面写真である.

つぎに, さきの判定法を 10 枚の写真について適用した結果が Table 3 である. Table 3 は Table 2 に対応させて, 写真上に現われた最大の結晶粒子断面の面積

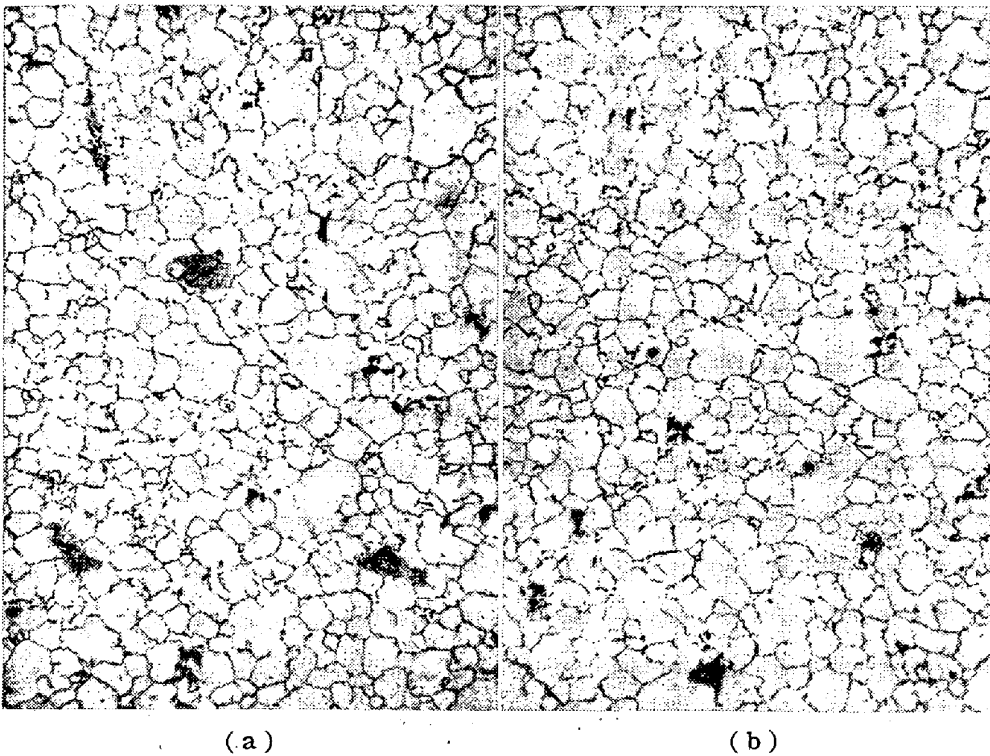


Photo. 1. Example of duplex-grain structure.  $\times 85 (1/2)$

を4等分し、写真上、径60mmの円内において、各面積範囲内の大きさの結晶粒子断面が占める面積の全面積に対する割合を測定したものである。最大結晶粒子断面積は $180\text{mm}^2$ であつた。表において、 $135\sim 180\text{mm}^2$ の測定値が $\rho = 0.75, k = 1$ の場合に相当する。この場合、測定値が0であるものは、径60mmの測定面内に $135\sim 180\text{mm}^2$ の結晶粒断面が存在しなかつたためであるが、これは混粒判定のためには差し支えない。なぜならば、もし大円面積が $180\text{mm}^2$ の大きさの均一な大きさの結晶粒子からなる整粒であれば径60mm

Table 3. Percentage of the area occupied by grains having the area of (0~44), (45~89), (90~134), (135~180)  $\text{mm}^2$ , respectively.

Photo. No.	Area ( $\text{mm}^2$ )			
	0~44	45~89	90~134	135~180
1	74.7	15.0	10.3	0.0
2	69.0	18.7	12.3	0.0
3	69.1	22.6	8.1	0.0
4	68.2	27.7	4.1	0.0
5	60.5	34.0	5.5	0.0
6	64.6	23.6	4.5	7.3
7	63.4	29.9	0.0	6.7
8	63.7	32.9	3.4	0.0
9	66.5	27.3	0.0	6.2
10	61.4	27.3	11.3	0.0
Mean values	66.1	25.9	9.0	2.0
Theoretical values from Table. 2	2.6	9.0	19.6	68.8

の円内では、整粒理論値に近い値になると考えられるからである。そこで、前述の判定法によつて判定するならば、もしこの材料が整粒であるならば、 $\rho = 0.75, k = 1$ のとき $R$ は約70%でなければならないが、測定値は0~7%である。ゆゑにこの材料は混粒と判定される。

Table 4は1枚の写真につき、Table 1に対応させて $\rho = 0.8$ として、 $R$ を測定した結果である。またFig. 1は、さきに理論で考察した混粒実測値と整粒理論値との差 $R - R'$ の関係を確かめるために、Table 4の結果から $\rho = 0.8$ として $k$ を1, 2, 3...と変えたとき、および $k = 1$ として $\rho$ を $0.8, 0.8^2, 0.8^3...$ と変えたときの $R - R'$ の変化を図示したものである。理論から予測したごとく $\rho$ が一定で $k$ が大になると $R - R'$ は正から負の値に移行し、 $k = 4$ のとき $R$ と $R'$ は等しくなつている。また $k = 1$ のときは $R - R'$ は常に正の値

Table 4. Measured values of  $R$  ( $\rho = 0.8$ )

$k$	1	2	3	4	5	6	7	8
$R \times 100(\%)$	0.0	5.1	0.0	2.7	11.6	14.5	9.0	4.9
$\sum_{k=1}^k R \times 100(\%)$	0.0	5.1	5.1	7.8	19.4	33.9	42.9	47.8
$\rho^k$	0.8	0.64	0.52	0.41	0.33	0.26	0.21	0.17
Theoretical values of $R \times 100(\%)$	62.2	19.6	8.7	4.6	2.9	1.5	1.1	0.6

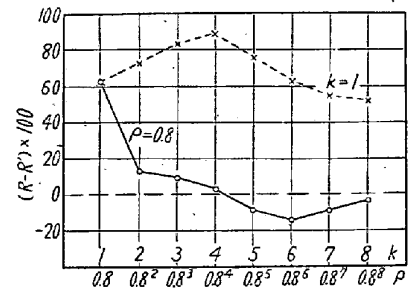


Fig. 1. Experimental relationship between  $(R - R')$  and  $\rho, k$ .

をとり、 $\rho = 0.84$  で最大となる。したがつてこの材料は  $\rho = 0.84 = 0.41$  で測定したとき、理論値と実測値との差は 84.6% と最大になる。

つぎに Table 3 の結果に理論を適用することにより混粒の度合をも概算できることを示そう。

Table 3 の各面積範囲の測定値は (7) 式によつて現わされるが、いま

$$R' = \frac{S_1 R_1 + S_2 R_2 + \dots + S_n R_n}{S} = sr$$

$$s = \frac{S_1 + S_2 + \dots + S_n}{S}$$

とおき、 $r$  の値として近似的に、たとえば  $135 \sim 180 \text{ mm}^2$  の測定平均値  $R' = 2.0$  については、その平均値  $160 \text{ mm}^2$  と  $135 \text{ mm}^2$  との比  $0.84$  を  $\rho$  としたときの理論値  $R$  にとる。すなわち、 $135 \text{ mm}^2 \sim 180 \text{ mm}^2$  の大円面積を有する結晶粒子を、同数の  $160 \text{ mm}^2$  の大円面積を有する結晶粒子に置きかえて計算するのである。  $s$  は材料断面において、大円面積が  $135 \text{ mm}^2 \sim 180 \text{ mm}^2$  なるすべての結晶粒子の断面が占める面積の全面積に対する割合である。いま、 $135 \text{ mm}^2 \sim 180 \text{ mm}^2$ 、 $90 \text{ mm}^2 \sim 134 \text{ mm}^2$ 、 $45 \text{ mm}^2 \sim 89 \text{ mm}^2$ 、 $0 \sim 44 \text{ mm}^2$  の各面積範囲に対応する  $r$  および  $s$  をそれぞれ  $r_1, r_2, r_3, r_4$  および  $s_1, s_2, s_3, s_4$  とするならば、 $s_1$  は  $R' = s_1 \cdot R_{\rho=0.84}$  に  $R' = 2.0$ 、 $R_{\rho=0.84} = 56.8$  を代入して計算すると  $s_1 = 0.035$  となる。  $s_2$  は  $R' = s_1 r_1 + s_2 r_2$ 、ここで  $s_1 r_1$  は大円面積  $160 \text{ mm}^2$  の結晶粒子の  $134 \text{ mm}^2 \sim 90 \text{ mm}^2$  の測定値への寄与であるから、 $r_1 = R_{\rho=0.56} = R_{\rho=0.84} = 28.2$  (ただし、 $0.56 = 90/160$ ) をとる。  $R' = 6.0$ 、 $s_1 = 0.035$ 、 $r_2 = R_{\rho=0.80} = 62.2$  (ただし  $0.80 = 90/112.5$ ) を代入すると  $s_2 = 0.083$  となる。  $s_3$  は、 $R' = s_2 r_2 + s_3 r_3$  ( $s_1 r_1$  の項は極少ゆえ無視)  $R' = 25.9$ 、 $s = 0.083$ 、 $r_2 = R_{\rho=0.4} = 30.8$ 、 $r_3 = R_{\rho=0.67} = 76.8$  より  $s_3 = 0.30$ 、 $s_4$  は  $R' = s_3 r_3 + s_4 r_4$ 、 $R' = 66.1$ 、 $s_3 = 0.30$ 、 $r_3 = 100 - 76.8 = 23.2$ 、 $r_4 = 100$  より  $s_4 = 0.59$  を得る。しかして各大きさの結晶粒子が均一に混在しているとき、材料において各大きさの結晶粒子が占める体積の割合は、任意の断面上において、各大きさの結晶粒子の断面が占める面積の割合に等しいゆえ、上の 4 範囲の各大きさの結晶粒子が占める体積の割合  $V$  は、 $V_1 = 3.5\%$ 、 $V_2 = 8.3\%$ 、 $V_3 = 30\%$ 、 $V_4 = 59\%$  となる。また  $s$  を各範囲の平均大円面積の  $3/2$  乗で除して、各大きさの粒の数の割合を求めると、 $n_1 = 0.3\%$ 、 $n_2 = 1.1\%$ 、 $n_3 = 8.2\%$ 、 $n_4 = 90.0\%$  となる。ゆえにこの材料は、大円面積が  $0 \sim 44 \text{ mm}^2$  の結晶粒子が数の割合で約 90% を占め、それに少量の大粒が混在していることがわかる。

以上の判定結果および混粒の度合の計算値が正しいか否かを確かめるべく行なつた実験の結果をつぎに示す。

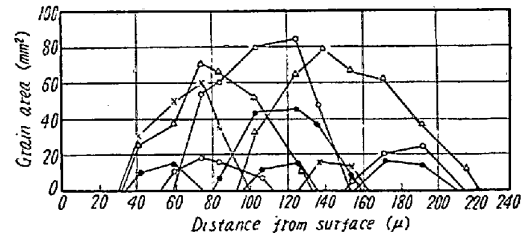


Fig. 2. Area of each grain corresponding to the depth from the surface of the specimen.

Fig. 2 は写真上、径 60mm の円内のすべて結晶粒子につき、試料表面より約 200  $\mu$  の深さにわたつて、その消長を調べた結果の一例であり、測定面に現われる結晶粒子断面積と、試料表面から測定面までの距離との関係で示してある。したがつて、曲線内に含まれる面積は、結晶粒子の体積に比例する。

また、Fig. 3 は Fig. 2 のごとく測定した結晶粒子のすべてにつき、それらの体積を、Fig. 2 の各曲線内の面積を測定することにより求め、図の各範囲の体積をもつ結晶粒子の数の全粒子数に対する割合を求めた結果である。各体積範囲は、Table 3 に対応させて Table 3 の各範囲の面積を大円面積とする粒の体積にとつた Fig. 2, Fig.

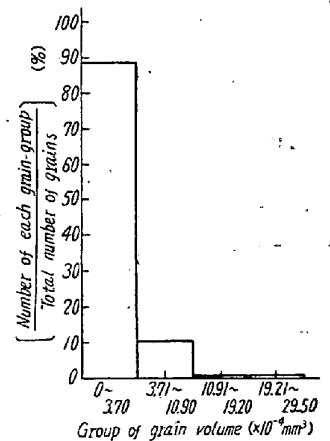


Fig. 3. Histogram representing a distribution of grain volumes in a volume.

3 から明らかなごとく、この材料は確かに混粒材料であり、判定結果が正しかつたことを証明している。また、Fig. 3 からこの材料は  $0 \sim 3.70 \times 10^{-4} \text{ mm}^3$  の大きさの、したがつて写真では  $0 \sim 44 \text{ mm}^2$  の大円面積を有する結晶粒子が数の割合で 89% を占めており、 $(3.71 \sim 10.90) \times 10^{-4} \text{ mm}^3$  のものが 10%、それ以上の粒が各 1% を占めており、さきの計算結果とよく一致している。

#### IV. 結 言

以上、混粒判定のための理論を立て、またその理論を用いて混粒の度合いの計算をもこころみ、それらを裏づける実験を行なつたが、実験の結果はこの判定法が結晶粒子が等軸であれば材料が整粒か、混粒か判定するための有効な方法であることを立証している。また、この

理論を用いることにより混粒の度合いを計算することも可能であることを示している。

終りに本研究を行うに当り、試料を御提供下さった住友金属工業株式会社車輛鑄鍛事業部宮内弘平氏に厚く感謝の意を表します。(昭和 35 年 9 月寄稿)

## 文 献

- 1) 堀川映二: 鉄と鋼, 40 (1954), 10, p.991
- 2) E. C. BAIN: Metals and Alloys, (1937), p. 348
- 3) W. M. WILLIAMS and C. S. SMITH: J. Metals, 4 (1952), 775

# 高炭素クローム鋼による軸受用鋼管の結晶偏析について\*

三好 栄次\*\*・松浦 信夫\*\*

## Microscopic Segregation in the High-Carbon Chromium Ball-Bearing Steel Tube.

Eiji MIYOSHI and Nobuo MATSUURA.

### Synopsis:

Carbide segregation in ball-bearing steel has been said to be harmful in their life. But unfortunately there is no concrete experimental data on this problem. In order to see the effect of this segregation, flattening test which proved the strength at room temperature, and a life test were performed. Test pieces were taken from each ingot belonging to the same heats. These ingots were heated at high temperature for different durations. Consequently the grades of segregation in each ingot were found different. The ring made of the ball-bearing steel were quenched, tempered and flattened between the two arms of a physical test machine. Carbide segregation slightly affected the flattening strength of the ring. But from the practical point of view, these effects could be neglected.

A life-test machine was invented by the Government Mechanical Laboratory. The small needle cut from the tube were rolled between three rolls. Their life was proved by the noise caused by the flaking on the surface of the needle. Microscopic segregation did not affect on the life of the ball-bearing steel.

## I. 結 言

結晶偏析の存在は軸受鋼としては好ましくないものとして従来からその程度が規定されていた。結晶偏析は鋼塊の中心に多く、外側に少ないので丸鋼として使用する場合は、中心部分は使用しないので比較的問題が小さい。しかし軸受を鋼管から製作する場合は内外ともに軌道面に使用されるので、結晶偏析を材料の中心まで消失させなければならない。結晶偏析は高温均質加熱によつて消失せしめることはできる。しかし高温に長時間加熱することは燃料経済の点からも酸化による損失の点からも原価的に重要な問題となり、製造者の立場からは十分検討されなければならない。この対策としては結晶偏析を減少させることも一つの方法であるが、同時に結晶偏析が使用上現実に影響を与える限界を研究し、不必要な努力を節約することも一つの方法である。反面結晶偏析の使用上の具体的な弊害について検討された例はあまり見ていない。本研究は軸受が使用上要求される性質の中

でもつとも具体的なものとして静的機械的性質を調べる圧潰試験と軸受の本質的な問題である寿命試験に関するもので結晶偏析の影響を調べた。

## II. 実 験 方 法

### 1. 材料の調整

材料はすべて 8 t のエルー式電弧炉によつて溶解した 1.5 t の鋼塊 5 本から採取した。これらはいずれも同一溶解から得られたものである。

成分は C 1.01%, Si 0.37%, Mn 0.45%, P 0.007%, S 0.006%, Cu 0.13%, Cr 1.47% の高炭素クローム鋼である。

高温均熱加熱としては同時に同一加熱炉で 1250°C に加熱し、一定時間ごとに鋼塊 1 本宛引出して結晶偏析の程度を変化させた。一定の時間としては 5 h, 10 h, 15

\* 昭和 34 年 4 月本会講演大会にて発表

\*\* 住友金属工業株式会社