

を算出して実際の統計的加工实例に基き吟味を加えた。今一個の部品についての鋼使用量を  $g$  (kg) 無鉛, 含鉛鋼の単価をそれぞれ  $m, m'$  (円/kg), 総加工工数をそれぞれ  $t, t'$  (人分), 特別工具費をそれぞれ  $l, l'$  (円) また, 工数単価を  $W$  (円/人分), 切削費以外の諸費合計 (熱処理, 鍛造費など) を  $k$  とすると,

$$\text{非快削鋼の部品単価 } c = mg + k + Wt + l \dots\dots (1)$$

$$\text{鉛快削鋼の部品単価 } c' = m'g + k + Wt' + l' \dots\dots (2)$$

今含鉛による材料費高の割合を  $P$  とし  $k/mg = K$

$$m'g + k/mg + k = 1 + \pi, Wt/c = \omega, l/c = \lambda$$

とおき

$$\alpha = t'/t = (\text{工数短縮比}) \dots\dots (3)$$

$$\beta = l'/l = (\text{工具費節減比}) \dots\dots (4)$$

$$\mu = (Wt + l)/c = (\text{切削加工費比率}) \dots\dots (5)$$

とすれば以上の各項より

$$\begin{aligned} \text{利得比 } \sigma &= (c - c')/c = -P(1 - \mu) \\ &\quad - \omega(1 - \alpha) + \lambda(1 - \beta) \dots\dots (6) \end{aligned}$$

(6) 式にて  $\alpha = \beta$  の条件の時  $\alpha = \beta$  とおけば  $\mu = \omega + \lambda$  の関係により

$$\sigma = \mu(1 - \alpha) - (1 - \mu)\pi \dots\dots (7)$$

今快削鋼使用による限界利得比を 2% とすれば

$$\sigma = \mu(1 - \alpha) - (1 - \mu)\pi \geq 0.02 \dots\dots (8)$$

$\pi = P/1 + K = (\text{含鉛プレミアム})$  とすれば数種の部品についての統計的な近似値として, 鍛造部品および削り出し部品ではそれぞれ  $\pi$  の値が 0.05 および 0.1 となる。したがってこの値を (8) に代入すると

(a) 鍛造品の場合限界利得費 2% 以上の条件は

$$\mu \geq 0.07/1.05 - \alpha$$

(b) 削り出し部品の利得費 2% 以上の条件は

$$\mu \geq 0.12/1.1 - \alpha$$

が求められる。

鉛快削鋼部品使用により数カ月の統計に基ぞく工数削減率  $\alpha$  の調査一例を示すと M 側クランクシャフト (S50C+Pb) D 側クランクシャフト (S50C+Pb) ミッションシャフト (SCM22+Pb) ピストンロッド (SCM21+Pb) でそれぞれ 84.6% 86.8%, 80.7% および 66.8% である。

したがって約 2 割近くの工数削減が認められた。しかし鉛快削鋼使用により原価計算上かなりの有利性が認められた。

## VI. 結 言

(1) SCM 22 と含鉛 SCM22 の疲労試験結果では滲炭無滲炭材を問わずノッチ感受性, 疲労限などに含鉛による有意差が認められない。また SCr4 と鉛量の異

なる含鉛 SCr4 の定荷重疲労試験では高抗張力にて含鉛量の多いものは若干疲労値が低位にあるようであるが焼戻し温度を上げるにしたがって含鉛の影響が認められないようである。

(2) 鉛快削鋼ギヤの機械加工性を調査した結果実際の作業面について加工工数が約 20% 削減され含鉛量が多いものほどよい結果が出た。また歯の強度試験については無鉛鋼とほとんど差なく走行試験後の歯の摩耗量は無鉛鋼と大差がない。

(3) 含鉛鋼使用に当つての経済性を検討する資料として簡単な数式を導いた。

実際鉛快削鋼使用後切削費と能率向上によるコストダウンは含鉛プレミアムを十分カバーし, かなりの有利性が認められた。

なお実際自動二輪車一台につき数十ほどの鉛快削鋼部品を使用しているが非常に良好な成績を収めている。

## (89) 軸受鋼中の A 系非金属介在物の電子顕微鏡的考察

### Electron Microscopic Observation of A-Type Non-Metallic Inclusions in Ball-Bearing Steel

H. Suyama, et alii.

日本特殊鋼

出口喜勇爾・西村 富隆・〇須山 弘

## I. 緒 言

鋼中に存在する A 系非金属介在物はその形状色彩などから sulphide と silicate に二分されるが時には両者の混在するもの, あるいは他の oxide と思われる微小粒子を含むものが観察され, 一般の場合にも MnO, FeO などの存在により相当複雑な様相を呈している。かかる非金属介在物の生成機構を解明しその防止対策を考究する上においてこれら非金属介在物の内部構造を研究することは有効な資料を与える。

ところで従来の研究方法はいづれも微細な個々の非金属介在物の判定法としては必ずしも決定的なものではなかつたため, かかる研究は行われていなかつた。本報告はかかる研究の第一歩として extraction replica 法により軸受鋼中 A 系介在物の電子顕微鏡的観察および電子回折による同定を試みその組成範囲について考察したものである。

## II. 試 料

供試軸受鋼 (SUJ3) は高周波電気炉製でその化学成

分は Table 1 にしめすごとくである。この 50 mmφ の Billet の中心を含む縦断面から試料を採取し、これを 1000°C×30 mm 油冷し非金属介在物のみを残し未溶解の炭化物は完全に消失してから試験に供した。

Table 1. Chemical composition of specimens.

C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu
1.02	0.54	0.90	0.022	0.012	1.00	0.07	0.12

### III. Extraction replica の作製

光学顕微鏡で観察した非金属介在物をそのまま電子顕微鏡視野に捕え両者が完全に一致していることを確認するとき試みは従来あまり行われていないので腐蝕液、replica 膜剝離法などについて種々検討した結果つぎの方法で行った。すなわち試料を研磨後光学顕微鏡で観察し目的とする介在物の周囲に diamond cone でマークをつけ 5% ピクリン酸アルコールで一次腐蝕を行い、つぎに ethylcellulose-trichlorethylen 溶液を利用した Blank replica により表面の付着物を除去し shadowing をかねて試料面に対して 30° の方向からカーボン蒸着を行なった。その後ふたたび光学顕微鏡観察によつてマークの位置を確認しそれを中心として 1.5 mm 程度の四角い傷をつけ他の部分のカーボン膜を全部剝離して 5% 硝酸アルコール中に浸漬し replica 膜を自然剝離させた。かくして得られた replica を 1% 塩酸アルコール中で十分洗滌し孔を大きくした Cu sheet mesh 上に移して電子顕微鏡で観察し replica 上のマークから光学顕微鏡で観察したものと同一の介在物であることを確認して後電子回折を試みた。

### IV. 実験結果ならびに考察

供試材中の介在物の存在量および存在状態についての概略の基準を得るため、焼入後温硝酸法による残渣分析を行なった。その結果は Table 2 にしめすごとくこの残渣中には比較的多量の MnO および少量の FeO が認められるが、これらの酸化物が硝酸溶液に対して非常に不安定なことから推定して鋼中に単独に存在していたものとは考えられない。また B, C 系介在物の電子回折結果

Table 2. Chemical analysis of residue extracted by hot nitric acid process.

Total oxide %	SiO <sub>2</sub> %	FeO %	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	MnO %
0.00764	0.00078	0.00030	0.00331	0.000034	0.0030
100	10	3.9	43.4	5.1	39

からもこれらの化合物と思われるものの存在は認められないので当然 A 系特に silicate 中に存在したものと考えられる。

つぎにこれら観察結果の数例をしめせばつぎのごとくである。Fig. 1 (a) は試料中に認められた A 系介在物の光学顕微鏡写真で基地は灰色であり一部には明らかに他の oxide と思われる褐色の大きな粒子が認められる。Fig. 1 (b) はこの介在物の電子顕微鏡像であり一次、

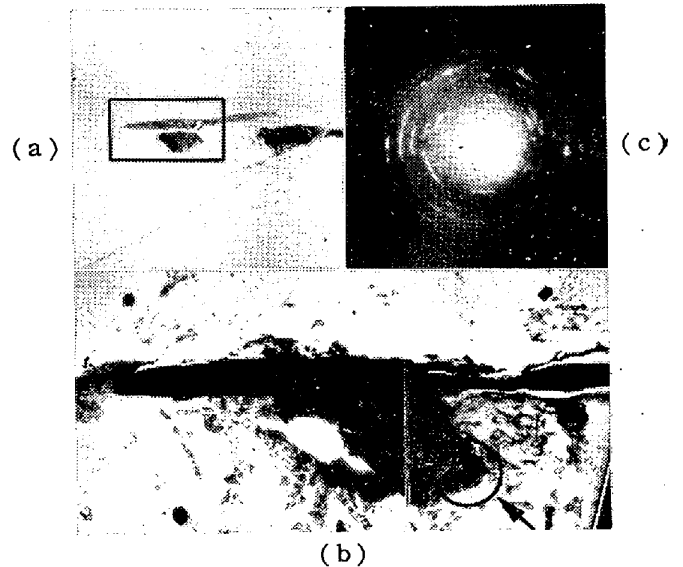


Fig. 1 (a) Light micrograph of silicate.  
(b) Electron micrograph of (a).  
(c) Electron diffraction pattern.

二次腐蝕による立体化のため多少の形状の変化と大きな粒子の脱落が認められるが明かに光学顕微鏡で観察したものと同一物であると確認される。この介在物の 1 の部分の電子回折像は Fig. 1 (c) のごとくであり、非金属介在物として存在すると考えられる約 60 種の化合物についての ASTM の Xray powder diffraction card と対照した結果 MnO·SiO<sub>2</sub> (rodonite 三斜晶) と SiO<sub>2</sub> (tridymite 六方晶) の存在をしめした。さらに他の多くの silicate 系介在物について電子回折を行つたところ同様な結果をしめしたので前後の残渣中に認められた MnO, FeO は MnO·SiO<sub>2</sub> あるいは (MnFe)O·SiO<sub>2</sub> の形で存在するものと考えられる。Fig. 2 (a), (b) も灰色の A 系介在物であり内部には微細な褐色の粒子が認められる。これの 1 の部分の電子回折像は Fig. 2 (c) のごとく弧状をしめし結晶子が一定の方位配列をとっていることをしめす。これらを同定した結果、SiO<sub>2</sub> (α-cristbarite, 擬立方晶), Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (chromium trioxide, 六方晶) および 2MnO·SiO<sub>2</sub> (tephroite, 斜方晶) で

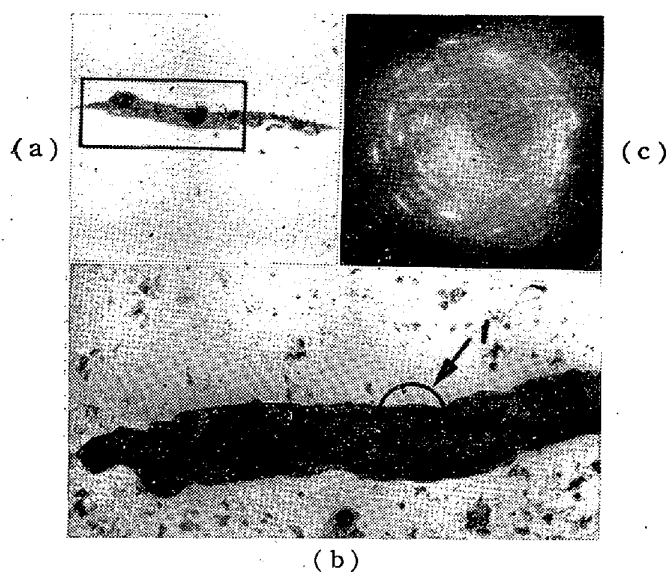


Fig. 2 (a) Light micrograph of silicate.  
(b) Electron micrograph of (a).  
(c) Electron diffraction pattern.

あることが確認された。これは silicate matrix 中に  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  が折出したものと考えられる。なお一部の結果には  $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$ ,  $2\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$  の存在が認められた。以上の結果軸受鋼中に存在する silicate 系介在物の主要組成は多くの場合理論上考えられる  $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-MnO-FeO}$  系よりも  $\text{SiO}_2\text{-FeO-MnO}$  系あるいはむしろ  $\text{SiO}_2\text{-MnO}$  系に近いことが推測される。そこで Madacks あるいは White などの  $\text{SiO}_2\text{-MnO-FeO}$  系および Hay の  $\text{SiO}_2\text{-MnO}$  系平衡状態図から考えればこれらの silicate

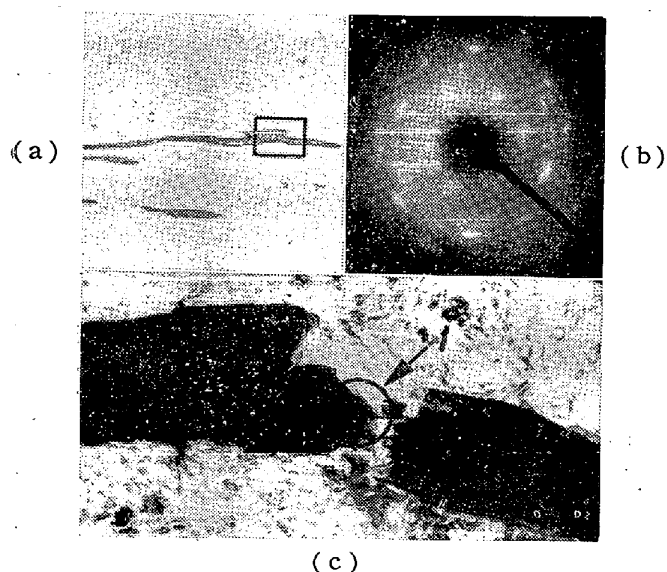


Fig. 3 (a) Light micrograph of sulphide.  
(b) Electron micrograph of (a).  
(c) Electron diffraction pattern.

は熔鋼中に生成した  $\text{SiO}_2\text{-MnO-FeO}$  融液の冷却により生じた初析の  $\text{SiO}_2$  と  $1215^\circ\text{C}$  付近で初析  $\text{SiO}_2$  + 残留  $\text{SiO}_2\text{-MnO-FeO}$  融液  $\rightarrow (\text{Mn, Fe})\text{O} \cdot \text{SiO}_2$  なる包晶反応によつて生じた  $(\text{Mn, Fe})\text{O} \cdot \text{SiO}_2$  からなつていゝと考えられる。また前述した  $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$  の存在するものは熔鋼中で  $\text{Al}_2\text{O}_3$  が  $\text{SiO}_2\text{-MnO-FeO}$  融液につつまれた結果生じたものと推察される。Fig. 3 (a) は集研をなして存在する A 系介在物で電子顕微鏡像 (Fig. 3 (b)) では一部分が一次、二次腐蝕中に溶解したことが認められる。電子回折結果は全体にわたつて Fig. 3 (c) のごとく  $\text{MnS}$  (立方晶) と  $\text{FeS}$  (六方晶) の混在をしめしてあり、 $\text{FeS}$  を固溶した  $\text{MnS}$  と  $\text{MnS-FeS}$  共晶あるいは  $\text{Mn}$  に富む初析  $(\text{Mn, Fe})\text{S}$  の冷却によつて生じた  $\text{FeS}$  からなるものと考えられる。またその他の sulphide 系介在物の電子回折結果も同様な傾向をしめた。以上の他 silicate と sulphide の混在をしめすものが認められた。かくのごとく A 系介在物は相当複雑な内部組織を呈していることが明らかにされたのでさらに細部にわたる検討が必要と考えられる。また B, C 系介在物についての観察結果では  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{AlN}$ ,  $\text{TiN}$ ,  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  等が認められた。

## V. 総 括

(1) Extraction replica 法により軸受鋼中 A 系非金属介在物を光学顕微鏡組織との完全なる対応のもとに電子顕微鏡観察および電子回折し、それらの内部組織について検討した。

(2) 温硝酸法による残渣中の  $\text{MnO}$ ,  $\text{FeO}$  は主として silicate 中に  $(\text{Mn, Fe})\text{O} \cdot \text{SiO}_2$  として存在したものであることが認められた。

(3) Silicate 系介在物の多くは  $\text{SiO}_2\text{-MnO}$  系に近似した組成を持ち、主として  $\text{SiO}_2$  と包晶反応によつて生じた  $(\text{Mn, Fe})\text{O} \cdot \text{SiO}_2$  からなるものと考えられる。

(4) Sulphide 系介在物の多くは  $\text{MnS}$  と  $\text{FeS}$  の混在をしめし、 $\text{MnS}$  と  $\text{FeS-MnS}$  共晶あるいは  $(\text{Mn, Fe})\text{S}$  から析出した  $\text{FeS}$  からなるものと推察される。