

3. 酸素吹精により、酸性操業でも相当の脱硫・脱燐が認められるが、脱燐には熔滓中に過量の鉄酸化物を形成させる必要がある。

4. 耐火壁を水冷することにより、裏張耐火壁が永久壁化され、水冷羽口の使用により浸蝕・熔損は完全に防止され、長時間の使用に充分堪え、寿命は大きく延長される。

5. 被覆保護層は酸性で 5~8 mm、塩基性で 8~11 mm の厚さを示し、水量に対するその温度変化がかなり小さい。その組織からすれば、この厚さが冷却効果のおよぶ範囲でしかも維持可能部分であることを示す。

最後に本実験の実施に当り、原料・副資材の御援助を与えて下さった富士製鉄室蘭製鉄所、日本電興小国製造

所ならびに井川鉄工所、また種々御教示を賜った前田元三氏、金森九郎氏；実験に加わられた本教室の諸兄に深謝する。

文 献

- 1) 佐藤良蔵, 田畑農夫: 鉄と鋼 42 (1956) 398
- 2) 佐藤良蔵: 鋳物 30 (1958) 3
- 3) S. V. Gebov: British Ceramic Abstracts 4 (1948), 132
- 4) C. E. Sims & F. L. Toy: Journal of Metals 4 (1950), 694
Sub Committee: Journal of Iron & Steel Inst., (1947) 155~157

軸受鋼中のA系非金属介在物の電子顕微鏡的考察*

出口喜勇爾**・西村 富隆**・須山 弘**

Electron-Microscopic Observation of A-Type Nonmetallic Inclusions in Ball-Bearing Steel.

Kiyoji Deguchi, Tomitaka Nishimura and Hiroshi Suyama

Synopsis:

A-type nonmetallic inclusions in ball-bearing steel were examined by an optical microscope, acid test and extraction method, however it was not easy to identify each inclusion by these methods. Therefore, the inclusions microscopically observed were extracted on carbon films and observed by an electron microscope, and then each inclusion was respectively identified by electron diffraction.

Moreover, to confirm the results obtained, the materials similar to these inclusions identified were composed experimentally and examined by an optical microscope, X-ray and electron diffraction.

In consequence, the following conclusions were obtained:

A-type nonmetallic inclusions in ball-bearing steel were classified into two groups. That is, the one belonged to such substance as α -cristobalite (α -SiO₂) + rhodonite (MnO·SiO₂) and the other as manganese sulfide (MnS) + iron sulfide (FeS) or manganese sulfide only. Therefore, it was supposed that the compositions of many silicate type inclusions in this steel were in coexisted range of SiO₂ and MnO·SiO₂ in MnO-SiO₂ system, and those of sulfide type inclusions in coexisted range of MnS and FeS or MnS range in MnS-FeS system.

Besides the nonmetallic inclusions above mentioned, there were a few inclusions which were composed from other components and could not be identified by electron diffraction.

I. 緒 言

軸受鋼中の非金属介在物はベアリングの寿命および音響効果に対して影響を与えるといわれているが、その際問題になるのは鋼中の全介在物量もさることながら介在

物の分布状態および種類であると考えられている。それゆえこれらの位置から問題となる非金属介在物だけを単

* 昭和 33 年 10 月本会講演大会にて発表

** 日本特殊鋼株式会社

独にとり出して、その内部構造ならびに組成範囲を明らかにすることは、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有効な資料を与える。

しかしながら従来行なわれている残渣分析法あるいは残渣のX線回折法などは、個々の非金属介在物の内部構造を知るためには必ずしも適当な研究手段ではなく、現在まで多くの基礎的な研究が行なわれているにもかかわらず、実際の軸受鋼中の非金属介在物の組成範囲についてはいまだ完全に究明されてはいない。そこでかかる研究の第一歩として、カーボン蒸着膜によるエキストラクションレプリカ法¹⁾で軸受鋼中の各種の非金属介在物を抽出し、これについて電子顕微鏡観察および電子回折による同定を試みた。その結果、BおよびC系介在物についてはこれらが粒状で厚かつたためほとんど回折像はえられなかつたが、A系介在物については大部分のものに対して電子回折ができたので、今回はA系のものだけにしぼって研究した。

したがって本報告は、軸受鋼中A系非金属介在物に対し電子回折よりえた結果と、この結果から判明したところの非金属介在物に類似の物質を合成し、これらについて顕微鏡観察およびX線、電子線回折を行なつた結果とを比較検討して、前記介在物の主要組成範囲について考察したものである。

II. 試 料

供試軸受鋼はSUJ3でその化学成分はTable 1のごとくである。径50mmのピレットの中心線を含む縦断面から試料を採取し、これを1000°C×30mn保持後油焼入を行ない、非金属介在物のみを残し、末溶解の炭化物を完全に固溶させてから試験を行なつた。

Table 1. Chemical composition of specimens (%).

C	Si	Mn	P
1.02	0.54	0.99	0.022
S	Cr	Ni	Cu
0.012	1.00	0.07	0.12

III. エキストラクションレプリカの作製

光学顕微鏡による非金属介在物の組織、色彩などの観察は非金属介在物を判定する際に重要な手がかりとなることはもちろんであるが、さらにこの結果と同一の非金属介在物についての電子回折による同定結果とを完全に

対応させるならば非金属介在物をより一層正しく判定することができる。しかしながら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るような試みは従来あまり行なわれていない。そこで腐蝕液、レプリカ膜剝離法などについても種々検討したのち、これをつぎのような方法で効果的に実施した。

すなわち試料を研磨後光学顕微鏡で観察しながら目的とする非金属介在物の周囲にダイヤモンドコーンでマークをつけ5%ピクリン酸アルコールで一次腐蝕を行ない、つぎにエチルセルローズ・トリクロールエチレン溶液を利用したブランクレプリカによつて表面の付着物を除去し、しかる後カーボン蒸着を行つた。その後ふたたび光学顕微鏡で観察しながらマークの位置を中心として1.5mm程度の四角な傷をつけ他の部分のカーボン膜を全部除去して、5%硝酸アルコール中に浸漬しレプリカ膜を自然剝離させた。かくしてえられたレプリカ膜を電子顕微鏡用のシートメッシュ上に移す際に、目的とする非金属介在物が丁度メッシュ孔の中に入らなければ、これの電子顕微鏡観察ができなくなるのでBooker²⁾の発表した方法を基にしてPhoto. 1のごとき装置を試作し、これにより目的とする非金属介在物を確実にメッシュ孔の中に捕えるようにした。

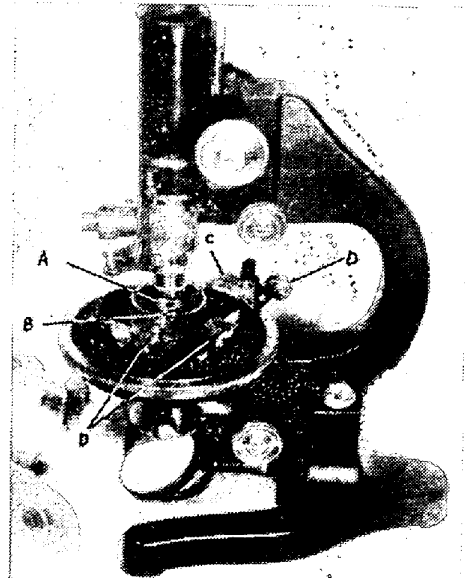


Photo. 1. Apparatus for replica preparation.

すなわち透過顕微鏡の載物台上に水の入つたシャーレを置き、レプリカ膜を移動防止用彎曲板(A)の中心孔内の水面にひろげる。この下にあるシートメッシュ支持台(B)は中空の同筒で腕(C)を通して3個の微動ネジ(D)によつて上下、水平方向に自由に移動しうる。操作はまず顕微鏡観察によつてレプリカ膜上の非金属介在物とシートメッシュの孔とが一直線上にくるように支持台

を調節し、つぎに観察しながら支持台を微動ネジによつて徐々に上げれば目的とする非金属介在物は確実にシートメッシュ孔の中に捕えられる。この装置はエキストラクションレプリカ用として非常に効果的であつた。なおレプリカ作製中に、所要レプリカ膜の一端にAuを蒸着し電子回折用標準試料とした。

IV. 実験結果および考察

(1) 腐蝕試験による判定

供試材中のA系非金属介在物を光学顕微鏡で観察するとほとんどすべての介在物はやや褐色がかつた灰色を呈し、さらに詳細に観察すると内部には黒褐色の微細な斑点が存在している。したがつてこれらが単一の相から成るものではないことが推測される。

つぎにこれらについて腐蝕試験⁹⁾を行なつたところ、これらのA系非金属介在物は10%クロム酸によつてほとんど全部が暗褐色に変つてしまうが、その中には5%塩酸アルコールあるいは20%弗化水素水溶液によつてもなおそのまま残存するものがあるので、色彩、形状の観察および腐蝕判定法によるだけでは組成についての推測はもちろん珪酸塩介在物と硫化介在物の区別もかなり困難であつた。なお参考までに温硝酸法による残渣分析を試みた結果をTable 2に示す。

(2) 電子回折による同定

供試材中から多数の非金属介在物を一つ一つエキストラクションレプリカで抽出し電子回折を行ない、その結果を非金属介在物として存在すると考えられる各種の化合物についてのA.S.T.M.のX-ray powder diffraction cardと対照した。えられた結果には多少の例外はあつたが、珪酸塩介在物系と硫化介在物系の2つに大別することができた。これらの多数の回折結果のうちから代表的な2, 3の例を選出して以下に説明する。

その第1の場合にはPhoto. 2に示すごとき場合である。すなわち光学顕微鏡組織同(a)のごとく、この非金属介在物はやや褐色を帯びた灰色を呈し、一部には他の酸化物と思われる褐色の大きな粒子が認められる。この非金属介在物をエキストラクションレプリカで抽出し電子顕微鏡観察した結果は同(b)のごとくで1次、2次腐蝕による形状の変化と一部の脱落が認められるが、明らかに光学顕微鏡で観察したものと同一物である。これの

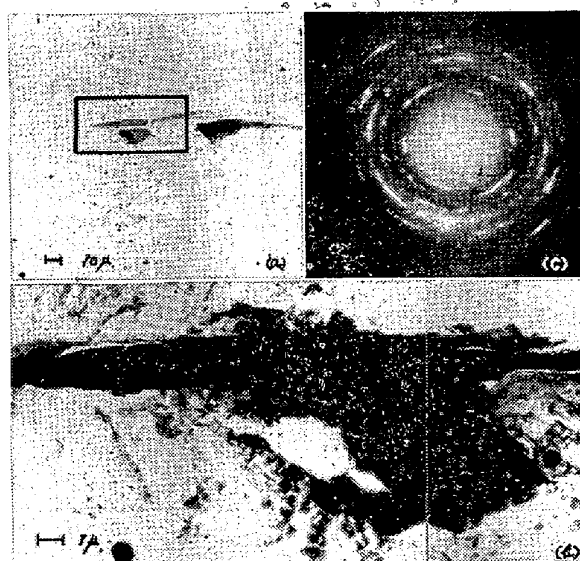


Photo. 2.

- (a) Light micrograph of silicate-type non-metallic inclusions.
 (b) Electron micrograph of the nonmetallic inclusion shown in mark of (a).
 (c) Electron diffraction pattern of the non-metallic inclusion shown in (b).

電子回折像は同(c)のごとく明確な孤状を示し、この非金属介在物が圧延によつて伸ばされ結晶学的な繊維構造になつていることがわかる。この解析結果はTable 3のごとくで、 SiO_2 (α -クリストバライト, 立方晶)と $\text{MnO}\cdot\text{SiO}_2$ (ロドナイト, 三斜晶)からなつている。

Photo. 3はこの第1の場合の例外的なものであり、光学顕微鏡組織同(a)では基地は褐色を帯びた灰色で内部には微細な黒褐色の粒子が認められる。同(b)はこれを抽出して電子顕微鏡観察したもので、電子回折像は同(c)のごとくである。これを解析した結果 SiO_2 (α -クリストバライト, 立方晶), Cr_2O_3 (クロム酸化物, 六方晶) および $2\text{MnO}\cdot\text{SiO}_2$ (テフロイト, 斜方晶) などであることが解つた。

つぎに第2の場合に属する介在物としてはPhoto. 4, 5に示すごときものがある。光学顕微鏡組織Photo. 4(a)は集団をなして存在するやや褐色を帯びた灰色の非金属介在物であり、これをエキストラクションレプリカで抽出し電子顕微鏡観察した結果は同(b)で、1次および2次腐蝕による一部の溶出が認められるが明らかに同一物であることがわかる。これの電子回折像は同(c)で

Table 2. Chemical composition of residue extracted by hot nitric acid (%).

Total oxide	SiO_2	FeO	Al_2O_3	Cr_2O_3	MnO
0.00765	0.00078	0.00030	0.0033	0.000039	0.0030

Table 3. Lattice spacings of the extracted nonmetallic inclusion shown in Photo. 2.

No.	Electron diffraction		SiO ₂ (α -cristbalite)		MnO·SiO ₂ (rhodonite)	
	Spacing Å	Int	Spacing Å	Int	Spacing Å	Int
1	4.04	w	4.04	1.00		
2	3.53	s			3.54	0.20
3	2.98	s			2.97	0.90
4	2.94	m			2.94	1.00
5	2.84	s	2.85	0.20		
6	2.50	s	2.48	0.30	2.52	0.20
7	2.15	v s			2.17	0.20
8	2.05	m			2.06	0.20
9	1.88	s	1.87	0.12		
10	1.73	w			1.722	0.20
11	1.58	w	1.59	0.01		
12	1.53	s	1.52	0.06	1.554	0.60
13	1.44	w	1.43	0.05		
14	1.34	w	1.339	0.03		
15	1.27	w	1.279	0.03		
16	1.24	w	1.235	0.01		
17	1.16	w	1.181	0.02		

vs (very strong), s (strong), m (medium), w (weak) and vw (very weak); diffraction line intensities.

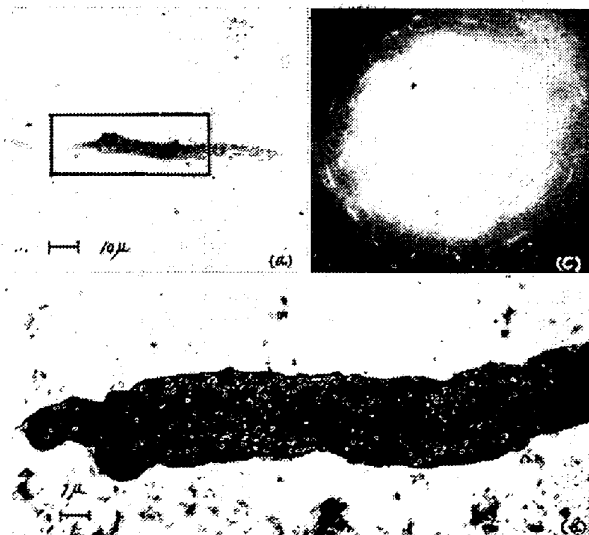


Photo. 3.

- (a) Light micrograph of silicate-type nonmetallic inclusion.
- (b) Electron micrograph of the nonmetallic inclusion shown in mark of (a).
- (c) Electron diffraction pattern of the nonmetallic inclusion shown in (b).

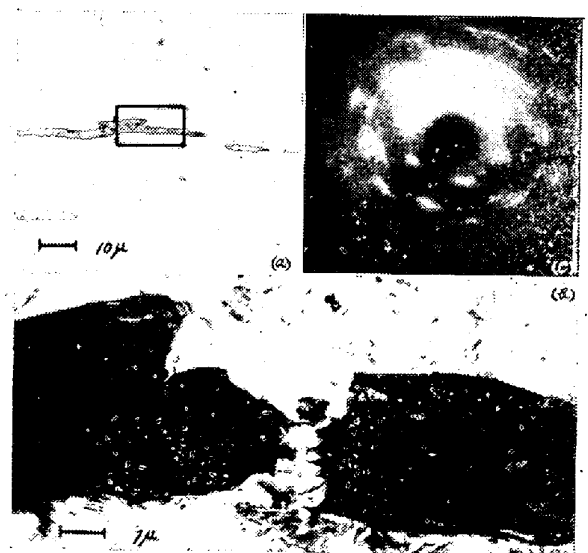


Photo. 4.

- (a) Light micrograph of sulfide-type nonmetallic inclusions.
- (b) Electron micrograph of the nonmetallic inclusion shown in mark of (a).
- (c) Electron diffraction pattern of the nonmetallic inclusion shown in (b).

これを解析した結果は Table 4 のごとくで MnS (立方晶) と FeS (六方晶) から成っている。

Photo. 5(a)もこれと同じ外観を呈する非金属介在物であるが、電子回折像同(c)は MnS の存在のみを示し FeS は認められなかつた。したがって第2の場合には MnS と FeS が共存する場合と MnS が単独で存在する場合とがあつた。

なお以上述べた2つの場合のいずれについても、電子

回折による回折線の相対強度と X線データのそれとの間には多少の相違が認められた。以上の他、別の化合物からなる非金属介在物、電子回折像はえられたが同定できなかつたものもわずかに存在した。供試軸受鋼のごとく Al, Si, Mn, Cr などの O との親和力の強い元素が共存している場合には、A系非金属介在物はこれらの酸化物の固溶体あるいは化合物になり複雑なものになると予想されるが、以上の結果では含 Al₂O₃ 系珪酸塩化合

Table 4. Lattice spacings of the extracted nonmetallic inclusion shown in Photo. 4.

No.	Electron diffraction		MnS		FeS	
	Spacing Å	Int	Spacing Å	Int	Spacing Å	Int
1	3.00	v s	3.02	0.11	2.97	0.33
2	2.86	w			2.88	0.04
3	2.63	m	2.61	1.00	2.65	0.33
4	2.04	v w			2.06	1.00
5	1.87	s	1.85	0.67		
6	1.76	v w			1.71	0.33
7	1.61	v w			1.61	0.07
8	1.56	s	1.58	0.04		
9	1.51	w	1.51	0.20		
10	1.30	w	1.309	0.08		
11	1.28	v w			1.299	0.05
12	1.21	m	1.20	0.01		
13	1.08	w	1.07	0.11		
14	1.05	w			1.05	0.07
15	1.01	w			0.995	0.01

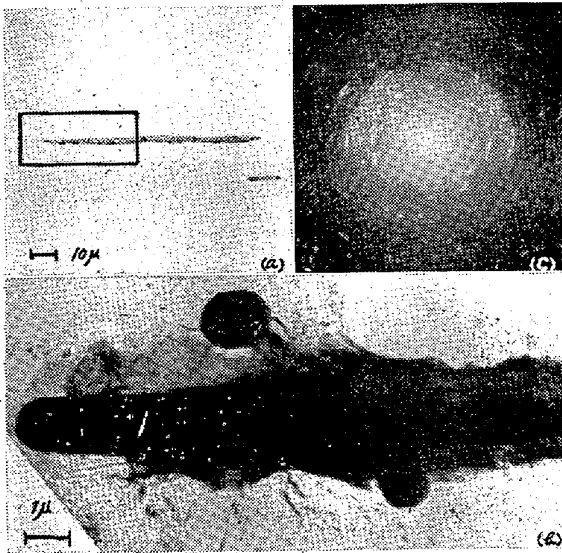


Photo. 5.

- (a) Light micrograph of sulfidet-type nonmetallic inclusions.
- (b) Electron micrograph of the nonmetallic inclusions shown in (a).

物の存在はほとんど認められなかつた。この他 Portevin⁵⁾, Whiteley⁶⁾などは CrS あるいは硫化物と MnO,

Table 5. Chemical compositions of silicate samples (%).

No.	SiO ₂	MnO
1	48.50	48.81
2	72.65	23.74

FeO との共晶などについて報告しているが、調査した範囲ではこれらは認められなかつた。

以上の結果から本軸受鋼中の珪酸塩系介在物の主要組成は MnO-SiO₂ 2元系の MnO-SiO₂, SiO₂ 共存範囲にあり、また硫化物系介在物のそれは MnS-FeS 系の MnS, FeS 共存範囲にあるかあるいは MnS 単独で構成されていると考えられる。

(3) 合成試料についての検討

以上の結果を確認し、さらに検討を加えるために、これらの非金属介在物と類似の物質を合成して、これについて顕微鏡組織の観察、X 線および電子線回折を試みた。試料の熔製は純黒鉛ルッポを用いてタンマン炉中で行ない原料の酸化、分解を防ぐためにアルゴン気流中で行なつた。

まず珪酸塩化合物系についてはシリカと、MnCO₃ を真空中で熱分解して作った MnO を原料として鋼中の非金属介在物の電子回折結果からえられたものと同様な組成として Fig. 1 (a) の MnO-SiO₂ 系平衡状態図より MnO-SiO₂ および MnO-SiO₂+SiO₂ の組成範囲にある 46% SiO₂ および 75% SiO₂ 配合のものを選び、この 2 試料を熔製し、しかる後それらを結晶化するためにすべて 1150°C × 3 h 保持

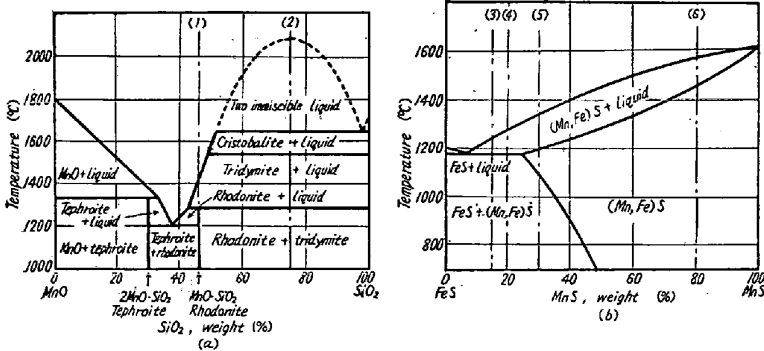


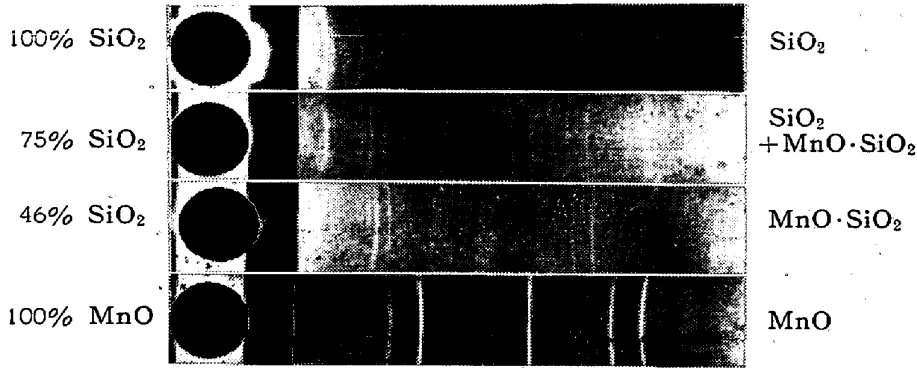
Fig. 1. Phase diagrams of MnO-SiO₂ (a) and FeS-MnS system (b).

した。試料の分析結果は Table 5 のごとくである。

これらの試料の粉末をX線回折した結果は Photo. 6 のごとくで sample 1 は $MnO \cdot SiO_2$, sample 2 は $MnO \cdot SiO_2 + SiO_2$ であった。なおこれらの試料の研磨のままの光学顕微鏡組織は Photo. 7 に示すごとくで sample 1 についてはロドナイトの結晶が認められ、同 2 についてはロドナイトの基地に針状の α -クリストバ

ライトが認められた。つぎにこれらの粉末をカーボン膜上に取り電子回折を行なったが、解析した結果はX線による結果と全く同様であった。1例として Table 6 に sample 2 の場合を示す。

つぎに硫化物系については FeS と、 $MnCl_2$ 水溶液に NH_4S を加えて作った MnS を原料として、鋼中の非金属介在物について認められたものと同様な組成のものとして Fig. 1(b) の $MnS-FeS$



系状態図¹⁰⁾から MnS , FeS 2 相共存範囲にある 15, 20, 30% MnS 配合の 3 試料および MnS 固溶体単相から成ると考えられる 80% MnS 配合の試料を選び、珪酸塩化合物の場合と同様に熔製した。試料の分析結果は Table 7 のごとくで、sample 6 は一部に金属質の部分を生じたため予定成分と相違している。

Photo. 6. X-ray diffraction photographs of silicate samples.

これらの試料の粉末をX線回折した結果、Sample 3~5 については MnS と FeS が、sample 6 については MnS とわずかに FeS の存在が確認された。

Photo. 8 はこれらの試料を研磨後 1% 酒石酸で腐蝕した際の光学顕微鏡組織の 1 例で、sample 4 では MnS 固溶体と MnS , FeS 共晶が認められ、sample 6 は MnS 固溶体から成り粒内に FeS と思われる微粒が認められる。つぎにこれらの試料を珪酸塩化合物系の場合と同様にして電子回折した結果はX線回折の判定とまったく同様であった。一例として sample 5 の電子顕微鏡写真および電子回折像を Photo. 9 に示す。粉末の電子顕微鏡写真同(a)に認められる大きな粒子は、カーボン膜上に移す際に小粒が凝集したために生じたものである。回折像同(b)は結晶が大きいために連続した斑点で

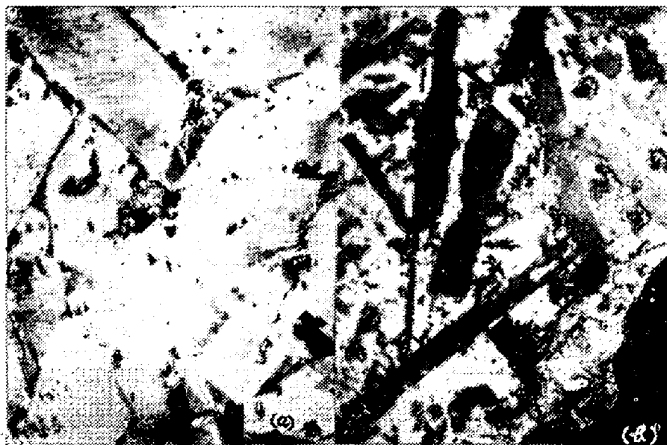


Photo. 7. Microstructures of silicate samples. $\times 400$ (2/3)

Table 6. Lattice spacings of sample 2.

No.	Electron diffraction		SiO_2 (α -cristobalite)		$MnO \cdot SiO_2$ (rhodonite)	
	Spacing Å	Int	Spacing Å	Int	Spacing Å	Int
1	4.04	s	4.04	1.00		
2	3.54	w			3.54	0.20
3	3.08	w			3.08	0.60
4	2.97	s			2.97	0.90
5	2.94	s			2.94	1.00
6	2.74	m			2.76	0.80
7	2.46	m	2.48	0.32	2.47	0.10
8	2.34	m			2.37	0.30
9	1.63	m	1.61	0.12	1.61	0.40
10	1.37	m	1.37	0.03		
11	1.30	m	1.30	0.03		
12	1.255	m	1.235	0.01		
13	1.07	m	1.095	0.03		

Table 7. Chemical compositions of sulfide samples (%).

No.	MnS	FeS
3	15.14	89.01
4	17.91	84.50
5	30.79	70.55
6	83.25	34.80



Sample 4

Sample 5

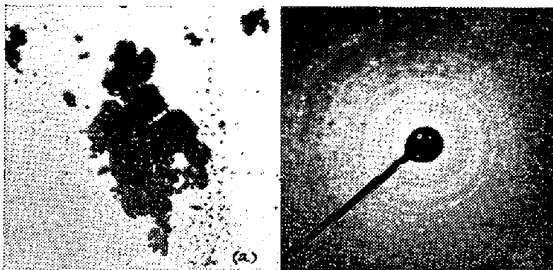
Photo. 8. Microstructures of sulfide samples. $\times 400$ (2/3)

Photo. 9. Electron micrograph (a) and electron diffraction pattern (b) of sulfide sample 5.

与えられたが、Table 8のごとく解析された。

以上のごとく珪酸塩化合物系および硫化物系合成試料

のいずれについても、カーボン膜上に置かれたこれらの粉末の電子回折による同定結果とX線による判定とは完全に一致し、また電子回折線の相対強度もX線データにおけるそれと良く一致している。したがって実際に鋼中に存在する非金属介在物においてえられた電子回折線の相対強度とX線データにおける相対強度との不一致についてはつぎのように考えられる。すなわち鋼中のこれらの非金属介在物が圧延により変形される際に、とくにその表面は周囲の鋼の影響を強く受けて結晶学的な乱れが生じ、その乱れの影響が電子回折強度に現われたものと思われる。また実際の非金属介在物ははなはだ微細なため、合成試料の顕微鏡組織において認められるとき2相共存組織を判別することはできなかつたが、さきに観察された内部の微細な斑点はこれらの組織を暗示しているものと考えられる。

V. 総 括

鋼中非金属介在物の判定法としては、光学顕微鏡観察、腐蝕試験法、残渣法などがあるが、これらは定性的な方法であつたりあるいは個々の介在物には適用できないなどの欠点があり決定的な判定法とはいいがたい。したがってわれわれは軸受鋼中非金属介在物について上記試験をすると同時に、さらに介在物をエキストラクションレプリカ法により抽出し、これの電子回折による同定を試みた。その結果、A系非金属介在物に対してはほとんど全部その構成物質を確実に同定することができた。

さらに上の結果を確認するために、上記のごとくして判明したA系非金属介在物と類似の物質を合成して、これについて種々調べてみた。その結果鋼中の非金属介在物の同定結果は正しいことがわかり、つぎのごとき結論をうることができた。

軸受鋼中A系非金属介在物は、 α -クリストパライト

Table 8. Lattice spacings of sample 5.

No.	Electron diffraction		FeS		MnS	
	Spacing Å	Int	Spacing Å	Int	Spacing Å	Int
1	3.04	s			3.02	0.11
2	2.65	s	2.65	0.33		
3	2.61	v s			2.61	1.00
4	2.07	s	2.06	1.00		
5	1.85	s			1.85	0.67
6	1.73	s	1.71	0.33		
7	1.595	m	1.61	0.07	1.58	0.04
8	1.49	m	1.48	0.04	1.51	0.20
9	1.32	w	1.321	0.13		
10	1.15	w			1.17	0.23
11	1.05	w	1.050	0.07		

(α - SiO_2) とロドナイト ($\text{MnO}\cdot\text{SiO}_2$) の共存状態よりなる珪酸塩系介在物と、 MnS と FeS の共存状態あるいは MnS 単独状態よりなる硫化物系介在物との2つの系統に大別された。したがって珪酸塩介在物の組成は SiO_2 - MnO 系中の SiO_2 と $\text{MnO}\cdot\text{SiO}_2$ の共存範囲にあり、また硫化物系介在物のそれは MnS - FeS 系中の MnS と FeS の共存範囲あるいは MnS 範囲にあるものと考えられる。以上の非金属介在物の他に、他の組成の化合物からなる介在物および電子回折によつては同定できなかった介在物がわずかではあるが存在した。

最後に臨み本研究の発表を許可された大河原社長、いろいろと御教示を賜つた村上先生、玉置前研究部長、佐々木研究部長ならびに石原常務に対し、深甚の謝意を表するとともに、分析その他でお世話になつた森脇次長、松本課員その他の関係各位に御礼申し上げます。

(昭和 34 年 2 月寄稿)

文 献

- 1) R. M. Fisher; Symposium on Technique for Electron Microscope, A.S.T.M., (1953) 49
- 2) 芥川, 内山, 深見; 鉄と鋼, 43 (1957) 1222
- 3) G. R. Booker; British J. Appl. Phys., 6 (1955) 430
- 4) Metals Hand Book, A.S.M., (1954) 449
- 5) A. M. Portevin & R. Castro; J. Iron and Steel Inst., 2 (1936) 213
- 6) J. H. Whiteley; J. Iron and Steel Inst., 160 (1948) 365
- 7) J. Amer. Ceram. Soc., 21 (1938) 121
- 8) R. Vogel u. W. Hotop; Arch. Eisenhütt., 1 (1937) 41

実用 Ni 基耐熱合金の機械的性質の比較*

(Ni 基耐熱合金に関する研究—V)

長 谷 川 太 郎**

Comparison of Mechanical Properties at Elevated Temperature of Some Commercial Ni-base Heat-Resisting Alloys.

(Studies on Ni-base heat-resisting alloys—V)

Taro Hasegawa

Synopsis:

Mechanical properties at elevated temperature of six commercial Ni-base heat-resisting alloys were investigated, and the effects of Co, Mo and Nb on mechanical properties were compared.

When compared the mechanical properties of Ni-Cr were with Ni-Cr-Co alloys, Co was found to be effective to increase strength at high temperature and long time test, and it also increased ductility at room & elevated temperature.

Mo was found to be effective to increase strength at high temperature, but it gave effect to decrease at high and long time test. M252 which contained 10% of Mo was found to have a lower creep rupture strength above 750°C than Inco 700 which contained lower Mo, but higher Ti, Al and Co. But M252 had the highest creep ductility at high temperature.

Nb was found to be effective to increase high-temperature strength as well as Ti & Al. But its effect was not clear in short time test of tensile strength. Therefore, Inconel X-550 had the highest stress rupture strength among Ni-Cr alloys. Creep ductility was decreased remarkably by the addition of 1.2% Nb as Ni-Cr alloys which contained high Ti and Al.

*昭和 33 年 4 月本会講演大会にて発表 ** 住友金属工業KK製鋼所