

Fig. 4. Results of bearing life test.

な介在物が影響すると述べているが、1鋼番につき 800 mm<sup>2</sup> 全視野調査したところでは 30μ 以上の酸化物はほとんど見られず 10~30μ について見ると連続鑄造材のほうが鋼塊材に比較して少ない結果を得た。酸化物系介在物に関し鋼中酸素量については連続鑄造材鋼塊材とも差が無く 20~30 ppm であった。

脱ガス材の寿命が一般にもいわれるように向上することから、当所では現在脱ガス設備を建設中でありDH脱ガス処理・連続鑄造・熱間押出の工程で製造された軸受鋼管の寿命向上を期待している。

4. 結 言

連続鑄造・熱間押出工程で製造した軸受鋼管について従来の鋼塊・分塊圧延・熱間押出工程で製造した場合と比較して製造工程上の特性および材質特性を調査した結果次のことが明らかとなり、連続鑄造法によるものが鋼塊法によるものに比べて遜色なく、2, 3の利点をもつことがわかった。

(1) 鑄造時での凝固速度が急速で均一なために鑄造組織での巨大炭化物が少なく、粒界も細いので巨大炭化物を消滅させるための均熱拡散条件が低温度側短時間側を選べ、また鋼管でのしま状偏析で問題ない。

(2) 球状化焼鈍組織は鑄造組織の微細なことと関連して均一微細な球状炭化物が得られるので、焼入硬度が出やすく焼入作業性が良好である。

(3) 連続鑄造材は加工比が 15~45 で鋼塊材の加工比 10~120 に対し低くとられるので地疵が少なく、低加工比にもかかわらず寿命は鋼塊材と同程度であり、連続鑄造材は加工比 15 以上で十分な成績が得られるといえる。

文 献

- 1) 太田, 他: 鉄と鋼, 51 (1965) 11, p. 2069
- 2) 小平, 他: 鉄と鋼, 51 (1965) 5, p. 954

- 3) 河合, 他: 鉄と鋼, 44 (1958) 6, p. 656
- 4) 上野, 他: 鉄と鋼, 46 (1960) 10, p. 1378
- 5) L. O. UHRS: Clean Steel Special Report 77, The Iron & Steel Inst., (1963), p. 105

(188) 軸受鋼の寿命におよぼす介在物および組織の効果

山陽特殊製鋼

工博 結城 晋・梶川 和男・○山口 旻  
Effect of Non-Metallic Inclusion and Micro Structure on the Fatigue Life of Bearing Steel.

Dr. Susumu YŪKI, Kazuo KAZIKAWA and Akira YAMAGUCHI.

1. 緒 言

前報<sup>1)</sup>において真空脱ガスおよび非脱ガス軸受鋼の転動疲労寿命試験を行ない、脱ガスによつて 10% 破損寿命が約 3 倍に伸びることを報告した。この現象の機構を明らかにするために今回は非金属介在物、縞状偏析、残留炭化物粒度などを測定し、それらと寿命との関係を統計的に調べた。

2. 供 試 材

供試材は軸受鋼 2 種の真空脱ガス材 4 ヒート、非脱ガス材 6 ヒートからスラスト寿命試験の済んだ試験片各 5 枚、合計 50 枚をとつた。試料採取にあたっては表裏の寿命ができるだけ近いことを規準にし、その試片の破断までのサイクル数は表裏の対数の平均値をとつた。供試材の化学成分は前報と重複する分もあるので省略する。なお以下の試験はすべて軌道面に相当する長さ方向に平行な切断面で行なつた。

3. 試 験 方 法

3.1 非金属介在物

供試材の介在物をマイクロ観察した結果、次の 5 種類に分類することが適当と認められた。

- (1) A<sub>1</sub>型 硫化物
- (2) A<sub>2</sub>型 ケイ酸塩
- (3) B 型 アルミナ系酸化物

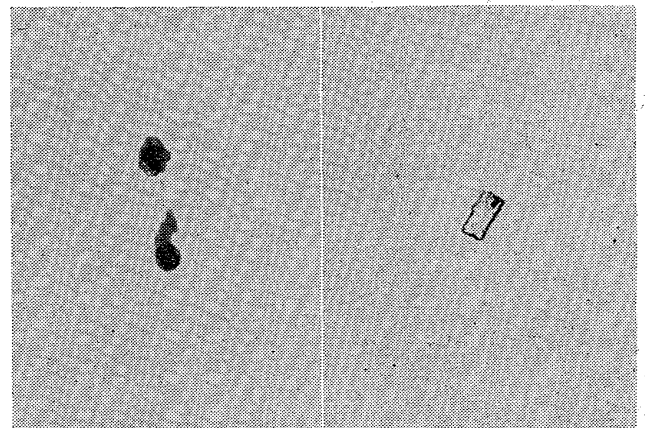


Photo. 1. C and D type of non-metallic inclusions.

Table 1. Number of non-metallic inclusions (Number per 60 mm<sup>2</sup>).

Heat No.	Process	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	B			C	D	
				Total	0~4μ	4~8μ			8μ~
A-1	Non-degassed	354	33	346	167	117	62	109	38
A-2		490	24	350	149	118	83	185	43
A-3		336	22	398	150	133	115	120	36
A-4		706	15	449	238	150	61	241	19
A-5		924	81	311	164	121	26	243	25
A-6		592	43	472	242	157	73	216	32
V-1	Vacuum-degassed	502	34	205	89	81	35	157	52
V-2		815	12	147	81	51	15	174	32
V-3		601	8	204	125	57	22	136	33
V-4		617	4	181	98	55	28	246	15
A-1~6	(mean value)	567	36	388	185	133	70	186	32
V-1~4		634	15	184	95	61	25	178	33
Reduction by degassing	(%)	-12	58	53	47	54	64	4.3	-3.1

Table 2. Result of regression analysis.

	Factor	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	B	C	D	M	R
	$r_{yx}$	0.24	-0.16	-0.53	0.17	0.02	-0.22	0.001
First analysis	$b_i$	0.091	-0.818	-0.665	0.295	0.607	-5.34	4.48
	$B_1\%$	50	17	12	49	18	19	20
	$t$	0.65	1.19	3.83	0.72	0.52	1.31	1.04
Last analysis	$b_i$	—	—	-0.719	—	—	-6.34	—
	$B_1\%$	—	—	0.5	—	—	0.4	—
	$t$	—	—	4.49	—	—	1.75	—

M: Micro segregation. R: Retained carbide size.

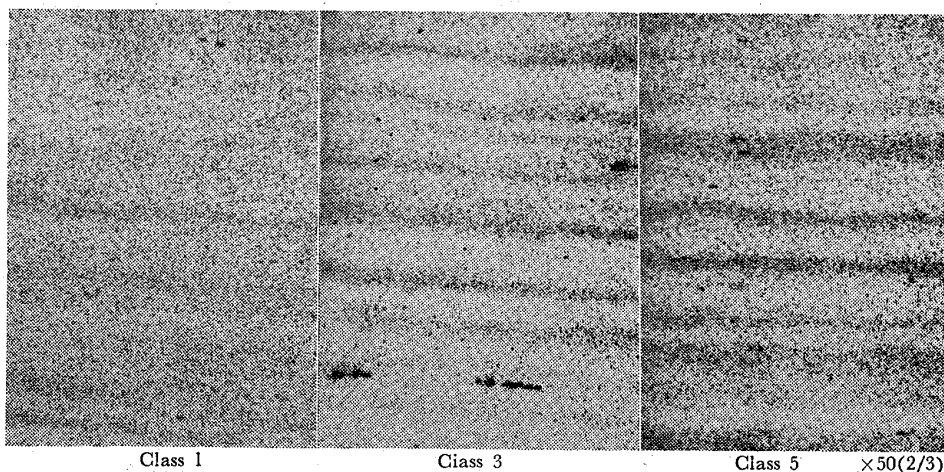


Photo. 2 Micro segregation of SUJ 2.

- (4) C型 スピネル系酸化物  
(5) D型  $Ti_4Mn_2O$

C型とD型の一例を Photo. 1 に示した, C型は大部分硫化物と共存している. D型の介在物は橙赤色をしておりかなり塑性変形している場合もある. これの同定は小さいものが多く困難であったが, ジャックハンマーによりたたき出して制限視野電子回折で行なった.

1個の試片から2個のマイクロ試片をとり, 2人の観測者が1000倍でそれぞれ160視野(1個の試片当り12 mm<sup>2</sup>) 検鏡して5種類の介在物の数をかぞえた. その結果をヒートごとに集計したものを Table 1 に示した. 脱ガスによる酸化物清浄度の改善は主としてアルミナ系介在物の減少によることがわかる.

### 3.2 縞状偏析と炭化物粒度

介在物が疲労剥離の起点となるのに対して, 縞状偏析と炭化物粒度は地の強度に関係し割れの生長に影響する因子のうちで簡単に判定しうるものという意味でとりあげた. 偏析, 炭化物粒度ともに標準写真を作製し(Photo. 2 に偏析の場合を示す), それと照合して等級をつけ数値化して後の統計処理の便を計った.

### 4. 回帰分析

まず寿命と上述の諸因子との間に次の回帰式が成立することを仮定し回帰分析を行なった.

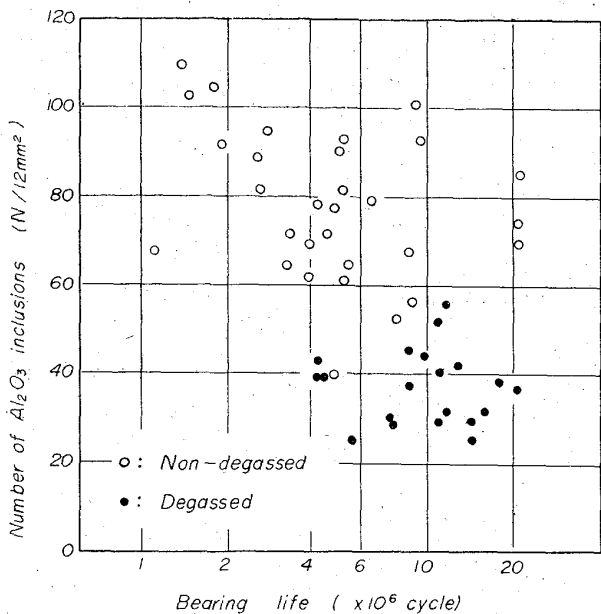


Fig. 1. Effect of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> inclusions on bearing life.

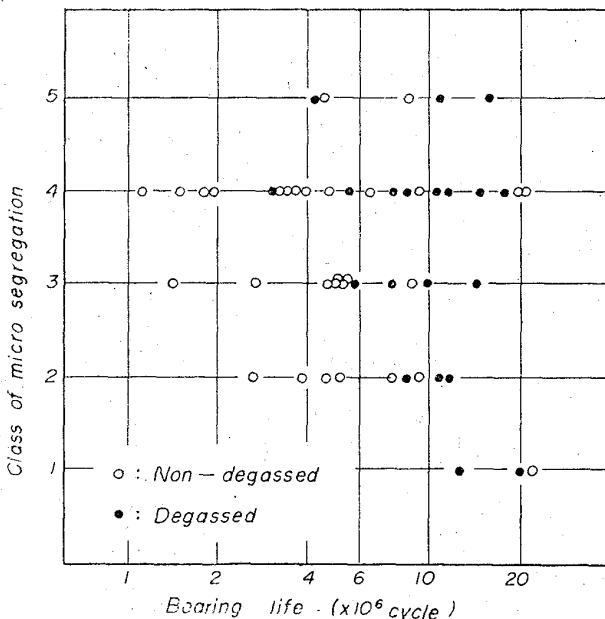


Fig. 2. Effect of micro segregation on bearing life.

$$\log y = a + \sum_{i=1}^7 b_i x_i$$

yは寿命で a, b<sub>i</sub> は常数, x<sub>i</sub> は各因子の測定値である。Table 2 にその結果の概要を示した。きわめて強い効果の認められたものは Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 個数で、有害な作用をおよぼす危険のあるものが縞状偏析であり、その他の因子については効果が認められなかった。Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> と偏析についてその寿命との関係を Fig. 1, 2 に示した。求められた回帰式は

$$\log y = 7.444 - 1/100(0.719B + 6.34M)$$

である。Mは縞状偏析の等級を表わす。(しかし他の因子についても正確な表現をすれば効果がないというよりも、出現する頻度が小さくて測定誤差が大きい場合とか、試片間のバラツキが小さくほぼ一定に保たれている場合

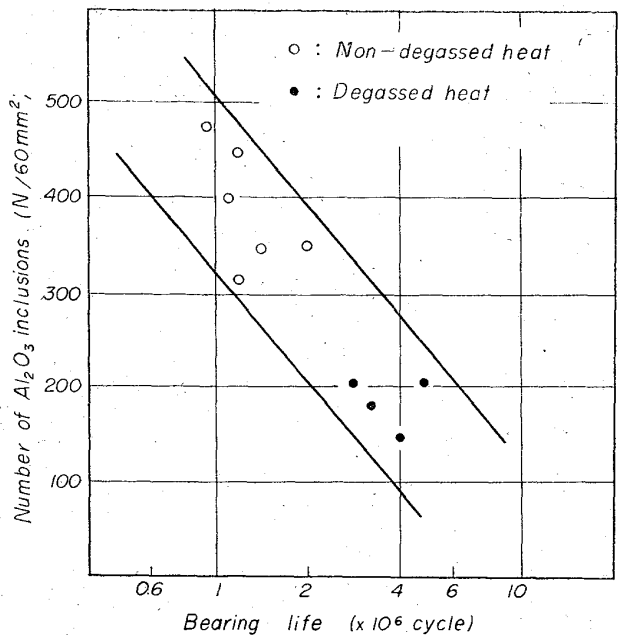


Fig. 3. Effect of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> inclusions on B<sub>10</sub> life.

はその効果が隠されていると考えられる。それ故一つの試みとして全因子に関する回帰式も述べておく。

$$\log y = 7.033 + 1/100(0.091A - 0.818A_2 - 0.655B + 0.295C + 0.607D - 5.34M + 4.48R)$$

ここでRは残留炭化物粒度の等級を表わす (Class 1 (細粒) から Class 5 (粗粒) まで)。Fig. 3 は Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> についてヒートごとに集計したものと 10% 破損寿命との関係を示す。

### 5. 考 察

軸受鋼の転動寿命に対する Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> の有害な効果については従来から報告されているが<sup>2,3)</sup>、この報告でも単相関係数で 1% の危険率で有意と認められた。さらに Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> の大きさ別の効果を調べてみたが何等相異は認められなかった。硫化物およびそれと共存するスピネルは寿命に対して正の相関係数を示したが、これは硬い酸化物が硫化物に包まれるとその有害な効果を失うことを示唆するものと解釈されるが、少なくとも硫化物自体は寿命に対して有害な効果はないと思われる。ケイ酸塩も負の回帰係数をもつことは従来の報告<sup>2,3)</sup>からも確実と思われるが、これは介在物はその形状よりもその硬さが寿命に対する効果を規定するものと推測してよいであろう。

縞状偏析は有害な作用をおよぼす危険がある。炭化物粒度は各試片ともかなりそろっており、この実験結果からは何ともいえない。

### 6. 結 言

真空脱ガスした軸受鋼の寿命の上昇を説明するために介在物その他の因子と寿命との関係を統計的に解析したが、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> の有害な効果のきわめて大きいことを確認した。その他に縞状偏析も有害な作用をおよぼす危険がある。

### 文 献

- 1) 結城, 梶川, 山口: 鉄と鋼, 51 (1965) 11, p.

2071

- 2) R. F. JOHNSON & J. F. SEWELL: J. Iron & Steel Inst. (U. K.), 196 (1960) 12, p. 414  
 3) 中島, 池田, 上野: 金材技研報告, 6 (1963) 2, p. 77

### (189) 17-Cr 溶鋼の空気酸化について

八幡製鉄, 光製鉄所

太田隆美・大岡耕之・○竹内英磨

Study on Air Oxidation of Molten Steel Containing 17% Cr.

Takayoshi ŌTA, Takayuki ŌOKA and Hidemaro TAKEUCHI.

#### 1. 緒 言

出鋼および鑄造中に鋼の空気酸化が起きることは実験的に明らかにされている。鑄造中の溶鋼の空気酸化は非金属介在物、とくに酸化物に質的にも量的にも著しい影響をおよぼすと考えられる。

ステンレス冷延鋼板の表面線状疵には非金属介在物に起因する疵が多い。この非金属介在物が鋼板製造工程のどの工程で生成されるか疑問である。そこでステンレス冷延鋼板に発生する表面疵の調査の一環として、17-Cr 鋼の空気酸化による酸化物の形成について調査した。

さらに溶鋼の空気酸化は、真空脱ガスした溶鋼を空气中で鑄造する場合のガスの再溶解、あるいは連続鑄造中に溶鋼表面にできた酸化物の巻き込みなどに関して考慮すべき問題である。

#### 2. 実験方法

脱酸素元素を含有し、比較的十分に脱酸された溶鋼を 100 kg 高周波真空炉で溶製し、50 kg 溶鋼をアルゴン 100 Torr 雰囲気中で鑄込み、残り 50 kg を空気と接触させて大気中で鑄造した。

アルゴン 100 Torr 雰囲気鑄造した鋼塊(試料符号 V. F. I) と大気鑄造鋼塊(試料符号 A. F. I) の Top および Bottom 部より各種試料を採取して、それぞれ化学成分分析、光学顕微鏡観察、電解抽出-塩素化法による介在物の化学分析および X 線解析、マイクロアナライザーによる個々の介在物の直接分析、真空溶融法による酸素分析を行ない、(1) 化学成分の変化、(2) 酸素および酸化物の変化、(3) 水素、窒素の変化を調査した。

##### 2.1 実験装置および実験試料の化学組成と溶製法

実験装置を Fig. 1 に示す。

SUS-24 に相当する溶鋼 100 kg を真空中で溶解し、 $3 \times 10^{-2}$  Torr で 20 min 間真空脱ガスを行ない、アルゴンを 100 Torr 導入し、成分調整して、アルゴン 100 Torr 雰囲気中で 50 kg を出鋼した。出鋼温度は 1,570 °C である。

つぎに空気を導入し、真空炉体を開放し、30 min 保持し、石英管で試料を採取した。温度は 1,550 °C に保持し大気中で 50 kg を鑄造した。注入時間は約 20 sec、注入温度は 1,530 °C である。

Table 1 に試料の溶製法を示す。

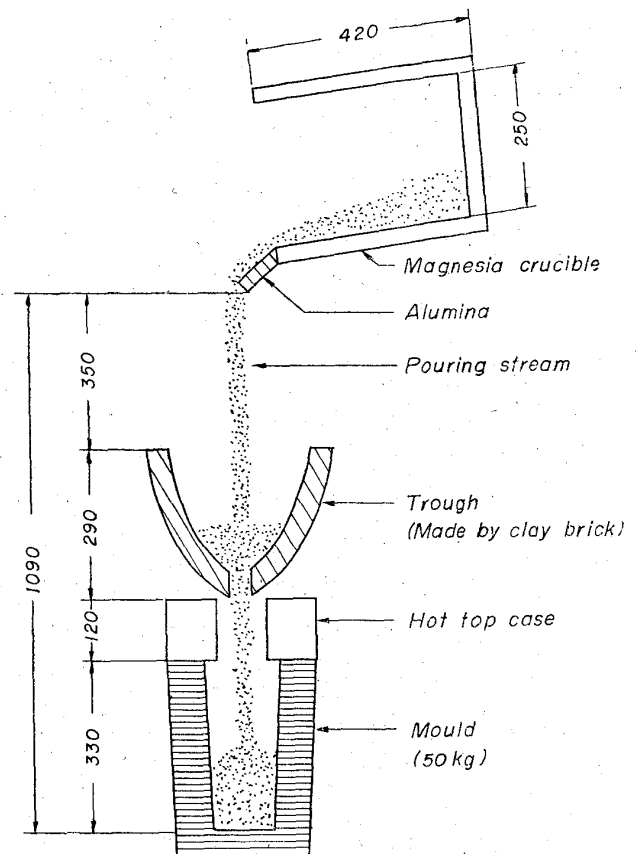


Fig. 1. Experimental apparatus.

Table 1. Melting method of sample.

	Vacuum degassing	Finished period	1/2 Tapping	Furnace open	1/2 Tapping
Pressure (Torr)	$3 \times 10^{-2}$	Ar. 100		Air. 760	
Time (min)	20	45		30	
Tap temp. (°C)			1,570		1,530

Table 2. Variation in the amounts of chemical composition (%).

Charge No.	Teeming	C	Si	Mn	Cr	H*	N*
V.F-59	In argon 100 Torr	0.05	0.46	0.49	16.13	2.2	173
	In air	0.05	0.37	0.35	16.04	4.0	238

\* p. p. m.

#### 3. 実験結果および考察

##### 3.1 化学成分の変化

Table 2 に両鋼塊の化学成分の変化を示す。

Table 2 に示すごとく、Si, Mn, Cr がそれぞれ 0.09%, 0.14%, 0.09% 減少している。

伊藤らの研究によれば<sup>2)</sup>十分に脱酸した溶鋼を酸化性ガスに接触させると、溶鋼の酸素濃度に達する前に溶