

Table 4. Sand analyses of materials tested (%)

Melting process	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO
Air-melted (LM)	0.0001	0.0058	0.0004	None	None
Cons-el Arc melted (CLM)	0.0001	0.0030	0.0005	//	//
Air-meltd (HM)	0.0002	0.0075	0.0004	//	//
Cons-el Arc melted (CHM)	0.0001	0.0012	0.0003	//	//

寿命をそのまま、右側は寿命の対数を横軸にとつてあり、これではほぼ正規分布になつている。Fig. 3のごとく CLM の平均寿命は LM の約 1.5 倍で、有意差が認められた。

#### IV. 結 言

軸受鋼の寿命試験には各種の試験方法が研究され実施されつつあり、材質の優劣にはそれらを広く総合して判定しなければならぬと考えられる。その一例として今回実施した回転曲げ疲労試験ならびに転動寿命試験結果から、コンセルアーク溶解により軸受材料の寿命の改善されることは確かと考えられるが、それらの全貌を知るためにはなを多くの試験を実施する必要がある。

軸受鋼の寿命におよぼす要因については幾多の研究がされているが、たとえば最近の統計的研究<sup>9)</sup>から寿命と相互関係を有するものとして、Cu, As の微量不純分、B型非金属介在物、炭化物粒度、圧壊荷重などがあげられている。

本試験に使用した試料では、前述せごとくコンセルアーク材の酸素がいちじるしく減少している。

B型非金属介在物は主として酸化物系であるが、サンド分析の結果は Table 4 のごとくコンセルアーク溶解によりいちじるしくアルミナ系酸化物が減少しており、上述と考えあわせて、疲労性質向上の一因と考えられる。

#### 文 献

- 1) 高尾, 西原, 八木: 鉄と鋼, 46 (1960) 12, p. 1543
- 2) J. H. MOORE: Iron Age, 171 (1953) 14, p. 154
- 3) 黒田: 日本機械学会誌, 63 (1960) 502, p. 1442

### (141) 真空熔解した軸受鋼について

金属材料技術研究所

工博 上野 学・O中島宏興・池田定雄

#### Vacuum-Melted Bearing Steels.

Dr. Manabu UENO, Hirooki NAKAJIMA  
and Sadao IKEDA.

#### I. 緒 言

真空技術のいちじるしい進歩とともに最近の真空熔解の発展はめざましく、各種の金属や合金に適用されるようになった。真空熔解による軸受鋼についても幾つかの文献が発表され、清浄度、疲労強度の向上などが報告されている。筆者たちも真空誘導熔解による軸受鋼については、SKF 軸受鋼と比較実験を行ないすでこれを発表したが<sup>1)</sup>この結果を再確認するためと消耗電極式真空アーク熔解による軸受鋼の評価のために実験を行なつたのでその結果をここに報告する。

#### II. 実 験 試 料

実験に用いた試料は真空誘導熔解によるもの2種 (A, B), 大気熔解によるもの1種 (C), 真空アーク熔解によるもの2種 (D, E), 合計5種の軸受鋼 (SUJ 2) で、DはCを再熔解したものである。その化学組成およびガス成分は Table 1 に示されるとおりである。真空熔解により蒸気圧の高い Mn はかなり減少しており、Cu や As も減つている。N の減少もいちじるしい。

これら5種の鋼材を鍛造、圧延したのち 60φ×5mm の円板に加工して疲労試験とした。熱処理は後に述べるように組織試験の結果から 840°C×40mn 加熱後油焼入し、150°×1h 焼戻した。

#### III. 組 織 試 験

##### 1. 非金属介在物

真空熔解により非金属介在物が減少し清浄な鋼になることは数多く報告されている。Fig. 1 は JIS 法による非金属介在物の面積率を示したもので、真空熔解による非金属介在物の減少はいちじるしくとくに B 系介在物はほとんど測定されなくなり、全量は約半分になつている。真空誘導熔解の A は C 系介在物がかなり多いが、これは耐火物などの外的汚染によるものと思われる。

Table 1. Chemical composition and gas content.

Melting process	Code	C %	Si %	Mn %	P %	S %	Cr %	Cu %	Ni %	Sn %	As %	N ppm	H ppm	Ingot size
Vacuum-induction melted.	A	0.85	0.32	0.45	0.020	0.010	1.44	0.07	0.05	0.009	0.03	82	0.3	250 kg
"	B	0.94	0.33	0.32	0.010	0.003	1.52	0.04	0.08	0.009	0.04	17	0.3	100 kg
Air melted.	C	1.01	0.32	0.49	0.012	0.006	1.39	0.12	0.05	0.013	0.04	105	0.2	134~190 φ × 760mm
Vacuum-arc melted.	D	1.04	0.35	0.38	0.013	0.005	1.43	0.08	0.05	0.012	0.02	80	0.1	130 φ × 300mm
"	E	1.02	0.23	0.37	0.018	0.008	1.47	0.12	0.09	0.022	0.02	62	0.2	350mmφ → 95mm φ

2. 炭化物の大きさと熱処理による挙動

炭化物は微細にしかも均一に分布していることが望ましく、実際、耐久性のすぐれた軸受鋼の炭化物は微細である。球状化炭化物の大きさについては講演会当日図示するが平均の大きさは 0.76~0.98μ、標準偏差は 0.38~0.56μ であり、真空熔解鋼では大気熔解鋼よりも大きさはやや小さく、ばらつきも少なかった。

各試料を 820, 840, 860°C の各温度に 30mn 保持したのち油焼入したときの残存炭化物の量をリニアルアナリシスで、硬度をロックウェル硬度計で測定したが、各試料の間にいちじるしい相異は認められなかった。焼入のためのオーステナイト化処理をしたとき、未溶解の残存炭化物量が 7~9% のとき寿命に最適と考えられるので寿命試験片の焼入温度として 840°C を選んだ。

IV. 寿命試験結果

60φ × 5mm の円板試験片をスラスト型寿命試験機<sup>2)</sup>で試験した結果を Fig. 2 に示す。試験片の表面の粗さは 0.5μ 程度に仕上げ、ヘルツの最大接触応力 500 kg/mm<sup>2</sup>、回転数 600 r.p.m で、潤滑油は 60# スピンドル油を用い、フレーキングの発生するまでの繰返数をもつて寿命とした。Cが大気熔解鋼であるのでこれを標準にして繰返数の平均値を比べると、真空誘導熔解鋼で約 1.4倍および 1.7倍、真空アーク熔解鋼で約 12 倍および 4 倍となっており、同じく C に対して対数平均値の差の検定を行なうと 5% の有意水準で各試料とも有意差が認められた。原料鋼の間に直接の関係があるのは C と D であるが、A, B, E もそれぞれ大気熔解鋼を再熔解したものであり、もとのそれら大気熔解鋼の間にはいちじるしい差異はないと考えられるので、こ

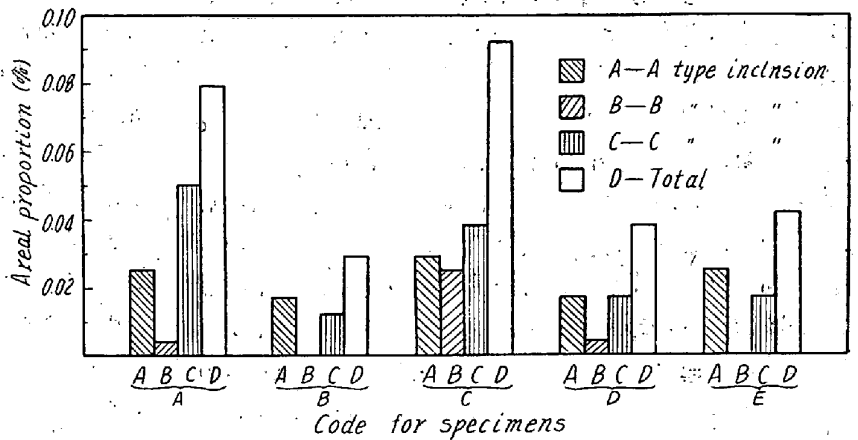


Fig. 1. Areal proportion of non metallic inclusions.

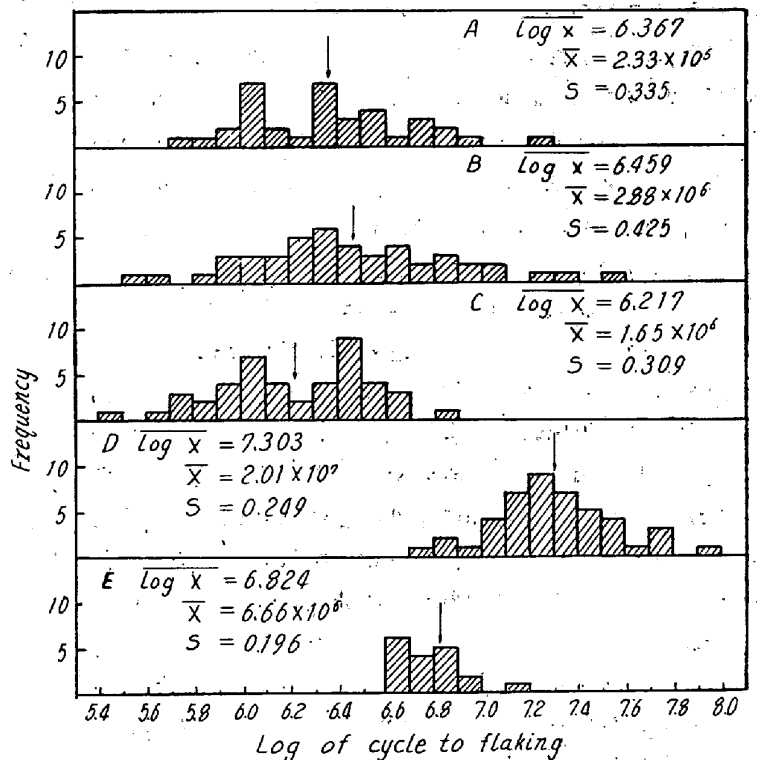


Fig. 2. Histogram for the logarithm of cycle to flaking.  
 $\log \bar{X}$  : Mean logarithm value of cycles to flaking  
 $\bar{X}$  : Mean value of cycle, S : Standard deviation

これらの平均値は十分比較しうるものと考えられる。すでに真空誘導熔解による軸受鋼をニードルにして行なつた寿命試験で、SKF の軸受鋼に比べて平均繰返数は約 1.4 倍になつたが有意差は認められず、ばらつきはむしろ増加したことを報告した<sup>1)</sup>。今回の結果においても繰返数の平均値は大気熔解鋼 C の  $1.65 \times 10^6$  に比べて、真空誘導熔解鋼の A が  $2.33 \times 10^6$  で 1.4 倍、B が  $2.88 \times 10^6$  で 1.7 倍となつているが、標準偏差は C の 0.309 が A では 0.335、B では 0.425 となりばらつきは増加していることを示している。一方真空アーク熔解鋼の D が  $2.01 \times 10^7$  で 12 倍、E が  $6.66 \times 10^6$  で 4 倍と非常によくばらつきを示す標準偏差も D で 0.249、E で 0.196 と小さくなつていて寿命の向上が相当大きいと考えられる。

そもそも軸受鋼のフレーキングを引き起すと考えられる疲労現象は幾つかの因子が複雑に組み合わさつて影響すると考えられ、以上のような結果についての理由を説明することは容易ではないが、つぎのように考えてみた。

軸受鋼のフレーキングは繰返疲労をうける面の下の最大接触応力の点を起点として生じたクラックが発達することによつて起ると考えられる。たまたま最大接触応力の付近にクラックの起因となりうるような欠陥があり、これが繰返応力をうけることによつて最初は小さな微視的クラックであつたのがだんだん大きくなる。そしてこれがある臨界的な大きさ以上になると、軸受鋼のように硬度の非常に高い状態では急速に進行してフレーキングにまでいたると考えられる。クラックの起因となりうる欠陥としては圧延などによつて塑性変形をしない非金属介在物 (B, C 系の酸化物)、炭化物、窒化物などと基地の境界や基地の中の転位、空孔などの不完全部分、不純物の偏析部分など顕微鏡的な大きさのものから超顕微鏡的な小さいものまでであるだろう。熱処理した軸受鋼の組織を大別すると、基地 90% 以上、炭化物 7~9%、非金属介在物などの析出物 0.1% となり、量的には基地がもつとも多く非金属介在物はきわめて小さい。しかし大きさの点からいうと逆の関係になり、どれがもつともクラックの起因となりやすいかということをも量的に求めることは困難であるが、従来の考え方は非金属介在物に重点をおきすぎたのではないかと考えられる。

以上のような考えを基礎にすると、真空アーク熔解鋼の寿命がいちじるしくよくなつたのは、アークの高温によつて微量不純物が蒸発除去されることおよび凝固が急冷によつて行なわれ健全な、偏析や欠陥の少ない鋼塊となることによつて基地の不完全部分が減少すること、B

C 系の非金属介在物が減少したこと、炭化物の大きさが小さいことなどによると考えられる。真空誘導熔解では不純物も相当除去され、非金属介在物も減少しているがその他の点でアーク熔解鋼に劣ることが、寿命の向上があまり大きくなかつた原因と考えられる。なお、これらはいくまで一つの考え方であつて、真の解明は今後の研究にまたねばならないであろう。

## V. 結 言

以上、大気熔解、真空誘導熔解、真空アーク熔解による軸受鋼について

(1) 真空熔解により非金属介在物は約半分に減少し、とくに B 系介在物の減少がいちじるしい。ガス成分もかなり減少している。

(2) 球状化焼鈍した炭化物の大きさや分布は真空熔解鋼がやや良好であるがいちじるしい差異は認められない。また、焼入のためのオーステナイト化処理による炭化物の挙動や焼入硬度にはいちじるしい差はなかつた。

(3) 寿命試験において、繰返数の平均値は大気熔解鋼の  $1.65 \times 10^6$  が真空誘導熔解では  $2.33 \times 10^6$ 、 $2.88 \times 10^6$  とやや上つているのに対して、真空アーク熔解鋼では  $6.66 \times 10^6$ 、 $2.01 \times 10^7$  と非常によくばらつきを示す。この結果からみて、軸受鋼においては真空誘導熔解鋼よりは真空アーク熔解鋼の方がかなりすぐれていると考えられる。

## 文 献

- 1) 上野, 中島: 鉄と鋼, 45 (1959), p. 506
- 2) 上野, 中島, 池田: 鉄と鋼, 46 (1960), p. 344

## (142) 熔解原料が軸受鋼におよぼす影響について

日本特殊鋼

工博 出口喜勇爾・西村富隆・〇須山 弘  
Effect of Raw Materials on Ball-Bearing Steels.

Dr. Kiyoji DEGUCHI, Tomitaka NISHIMURA  
Hiroshi SUYAMA.

## I. 緒 言

従来 SKF 軸受鋼が優秀な性質をもつ理由は熔解方法の相違もさることながら根本的には原料の相違にも起因しているといわれており、最近でも軸受鋼の焼入性、炭化物の挙動、寿命などにたいし熔解原料が非常に重要な影響をおよぼすことが報告されている。また市販軸受鋼