

究所副所長に深謝の意を表するとともに、直接御指導戴いた理学博士大中都四郎第二製造部長兼技術部長に深く感謝するしだいでありませう。(昭和 35 年 10 月寄稿)

文 献

- 1) 明田義男・牛島清人: 鉄と鋼, 46 (1960), No. 7 p. 753
- 2) W. KÖSTER: Z. Metallkunde, 39 (1948), p. 1
- 3) H. F. HALL: Brit. Iron & Steel Inst. Special Rep., No. 15 (1936), p. 65
- 4) たとえば C. SIMS: Trans. Amer. Soc. Metals, 26 (1938), p. 400
- 5) R. W. RUDDLE: The Solidification of Castings, (1950), p. 64
- 6) L. H. NELSON: Trans. Amer. Soc. Metals, 22 (1934), p. 193
- 7) J. CHIPMAN & C. R. FONDERSMITH: Trans. Met. Soc., Amer. Inst. Min., Met. Eng, 125 (1937), p. 370
- 8) J. W. SPRETNAK: Trans. Amer. Soc. Metals, 39 (1947), p. 567
- 9) K. G. SPEITH u. A. BUNGEROTH: Stahl u. Eisen, 72 (1952), Nr. 15, p. 813
- 10) G. WILZ et M. PETITDIDIER: Rev. Mét., 55 (1958), No. 5, p. 486
- 11) K. SINGER u. B. BENNEK: Stahl u. Eisen, 51 (1931), Nr. 1, p. 61
- 12) たとえば W. A. TILLER: J. Metals, 11 (1959), No. 8, p. 512

海綿鉄を原料として溶製した軸受鋼について*

上野 学**・中島宏興***・池田定雄***

Ball-Bearing Steels Made from the Sponge Iron as Raw Material.

Manabu UENO, Hirooki NAKAJIMA and Sadao IKEDA

Synopsis:

Nowadays, there are many reference data on the ball-bearing steels pertaining to the melting, refining, forging, hot-working and heat-treatment, but few reports on the raw material for melting.

In the SKF ball-bearing steels, the sponge iron and returned scrap have been used as the raw materials, while the iron sand, the commercial and returned scrap have been used generally in Japanese ball-bearing steels.

Therefore, it is very interesting to ascertain what the sponge iron has the effect on an improvement in the durability of ball-bearing steels.

In this report, the austenitizing behaviour and durability of ball-bearing steels, made from the sponge iron in a basic electric arc furnace, were studied by means of chemical analysis, point-counting, lineal analysis, the Rockwell hardness test, static torsion test and thrust-type life test.

The results obtained were as follows:

(1) The minor impurities like copper, molybdenum and tin were decreased considerably in steels, in which more than 50% of the sponge iron was charged in the ratio of more than 50% of the raw material.

(2) As the charged ratio of the sponge iron was increased, the contents of stringer-type and oxide-type non-metallic inclusions showed a rising tendency, but that of Al_2O_3 -type non-metallic inclusions showed no change.

Total content of non-metallic inclusions was increased with the enhancement of the charged sponge iron.

(3) In each specimen the mean diameters of the spheroidized carbide were between 0.84μ and 1.04μ , and this size appeared to be larger considerably than that of the SKF and the New Departure ball-bearings.

* 昭和35年4月本会講演大会にて発表 ** 金属材料技術研究所 工博 *** 金属材料技術研究所

(4) The behaviour of carbide solution into austenite showed no difference in each specimen except No.2, of which carbide did not go to solution easily at an austenitizing temperature of 840°C on account of 0.2% vanadium addition.

(5) Three groups were divided by the results of life test. Especially the best group was No.3 (50% sponge iron +50% returned scrap) and No.6 (all sponge iron), the second group was No.2 (50% scrap+30% returned scrap+20% iron sand+0.2% vanadium), No.4 (50% iron sand+50% sponge iron) and No.5 (25% returned scrap+75% sponge iron), and the last group was No.1 (50% scrap +30% returned scrap +20% iron sand), which showed the commercial charging ratio of the raw materials.

I. 結 言

軸受の寿命試験が数年前より盛んに行なわれるようになって以来、寿命の向上には軸受鋼の品質向上の研究の必要性が強調されてきたが、いずれの研究も溶解法、鍛造加工法、熱処理法に関するものであり、溶解原料についての検討がほとんど行なわれていない。

スウェーデンのSKFの軸受鋼では海綿鉄を溶解原料とし、わが国では砂鉄銑と返り屑を溶解原料の主体としている。それで著者らはこの直接製鉄法による海綿鉄を原料とした場合軸受の寿命にいかに関与するかを検討するために研究を行なつて来たのである。なお、最近直接製鉄法がわが国の製鉄・製鋼メーカーの間で注目をあび、ある人達はスクラップの代用だと単に考えているが、しかしこの海綿鉄が本当に市場スクラップと同じ程度のものであるか、あるいは鋼の品質向上に重要な役割を果すものであるかは、直接製鉄法の発展に重要な問題を提供するのである。それで著者らはこの問題に数年来取り

組み、一応の結果を得たので本稿に報告する。

II. 試料の溶製、化学組成および介在物

試料の溶製の配合割合、化学組成およびガス含有量を Table 1 に示す。これらの配合原料を塩基性アーク電気炉にて溶解精錬し、400 kg の鋼塊に鑄込み、これを鍛造圧延により 65 mm φ の棒材に仕上げて球状化焼鈍した。No.1 より No.6 までいずれも“silicious slag”の下に溶製した。No.1 は市販軸受鋼と同じ原料配合割合であり、No.2 は No.1 の配合割合に V が 0.2% 添加されたものである。Table 1 の化学組成とガス分析結果より海綿鉄を 50% 配合すると Cu 量がかなり減少する。砂鉄銑と海綿鉄の 50:50 のものが Cu 量が 0.04% で最低であつた。ガス含有量についていえば海綿鉄を配合してもいちじるしく減少する傾向はみとめられない。つぎに微量定性分析を Jaco-Ebert 型スペクトログラフで行なつた結果を Table 2 に示す。これから明らかなように海綿鉄を配合することにより、Mo, Sn が

Table 1. Chemical composition, gas content and charged ratio of raw materials.

Code	Chemical composition (wt%)										Gas cont. (ppm)			Charged ratio of R.M. (%)				
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu	V	H	O	N	Scrap	Returned scrap	Iron sand	Sponge iron	Fe-V	
No.1	0.95	0.31	0.38	0.012	0.010	1.43	0.09	0.16	—	0.4	62	54	50	30	20	—	—	
No.2	1.05	0.36	0.39	0.012	0.011	1.35	0.09	0.14	0.24	0.4	48	30	50	30	20	—	0.2	
No.3	0.83	0.28	0.38	0.014	0.012	1.49	0.08	0.08	—	0.8	48	52	—	50	—	50	—	
No.4	0.98	0.40	0.40	0.013	0.014	1.28	0.06	0.04	—	0.5	25	46	—	—	50	50	—	
No.5	0.96	0.40	0.33	0.015	0.011	1.42	0.14	0.07	—	0.6	67	36	—	25	—	75	—	
No.6	1.05	0.22	0.36	0.015	0.011	1.37	0.22	0.06	—	0.07	39	38	—	—	—	100	—	

Table 2. Spectroscopic analysis of minor elements.

Code	Minor elements														
	As	Sb	B	Mo	Sn	Bi	Al	Pb	Mg	Cd	Zn	Ti	V	Co	
No.1	—	—	—	1.3	2	—	±	—	±	—	—	±	±	3	
No.2	—	—	—	1.5	1.5	—	±	—	±	—	—	±	2.5	1.5	
No.3	—	—	—	+	±	—	±	—	±	—	—	±	±	2	
No.4	—	—	—	±	±	—	±	—	±	—	—	±	±	2.5	
No.5	—	—	—	±	±	—	±	—	±	—	—	±	±	4	
No.6	—	—	—	±	±	—	±	—	±	—	—	±	±	5	

Weak ← —, ±, ±, ±, +, 2(++), 3(+++), 4, ……10 → Strong

かなり減少しているが、ほかの微量元素にはあまり差はない。

非金属介在物量を新学振法第3法(点算法)で測定すると Fig. 1 のようになる。すなわち、海綿鉄の配合割合が多くなるにつれて、A型介在物とC型介在物の量が多くなる傾向を示し、B型介在物にはあまり差異はない。介在物の総量は海綿鉄の配合割合とともに多くなる。

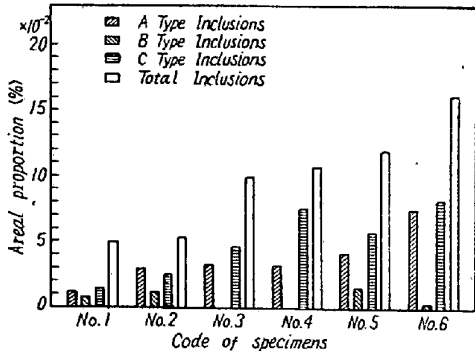
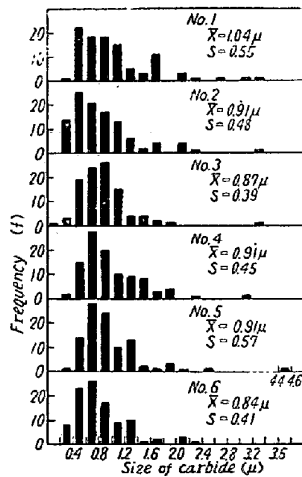


Fig. 1. Nonmetallic inclusions of each specimen.

III. 実験結果

(1) 球状炭化物の分布と挙動

球状炭化物の大きさは微細なほど寿命に対して良好だといわれ、諸外国の寿命の良好な軸受鋼の炭化物も微細である。Fig. 2 に各試料の球状化焼鈍のままの炭化物の大きさの度数分布図を示す。(図中の \bar{x} は炭化物の径の平均値、 S は標準偏差を示す。)炭化物の径の平均寸法(図中 \bar{x})は $0.84\mu \sim 1.04\mu$ の範囲にあり、外国製品の微細な炭化物と比較すれば、その大きさとばらつきはかなり大きかつたがこれら各試料の球状化処理について検討する必要がある。



\bar{x} : Mean value of carbide sizes
 S : Standard deviation of carbide sizes

Fig. 2. Frequency distribution of carbide size.

つぎに焼入温度を決定するために各試料を 820°C , 840°C , 860°C の各焼入温度に約 40mn 保持し油焼入を行なった。この焼入した試料の残存炭化物量と硬度との関係を示せば Fig. 3 のようになる。残存炭化物量の測

定には lineal analysis 法、硬度測定にはロックウエル硬度計を使用した。寿命の最適範囲の残存炭化物量は $7\sim 9\%$ であるので、No. 2 以外の試料の焼入温度を 840°C に選んだ。No. 2 の試料では 860°C に保持にて残存炭化物量が約 11% 程度残存するが、これ以上の焼入温度より焼入すると、焼割れおよび破断面粒度が荒れるので No. 2 のみ焼入温度を 860°C とした。

(2) 静的振り試験の挙動

軸受鋼のように高硬度 (Re 63 以上) に熱処理されて使用されるものの靱性を評価する方法として静的振り試験法を採用した。振り試験片の平行部の直径は $6 \pm 0.01 \text{ mm}$ で、平行部の長さは $80 \pm 0.1 \text{ mm}$ である。

各試料を 840°C (No. 2 は 860°C) より油焼入し、 150° , 175° , 200°C の各温度に 1 時間焼戻処理した。これらの試験片の静的振り試験結果を Fig. 4 に示す。変形角が大きく、かつトルクの値が高いほど靱性が良好である。一般的にいえば、海綿鉄を配合すると靱性が良好になる傾向を示すが、No. 2 と No. 6 の場合 175°C の焼戻温度で靱性の低下を示す。また No. 3 の 200°C の焼戻温度ではトルクが低くなり変形角がいちじるしく大きくなっているのは No. 3 の試料の炭素量が 0.83% であつて他の試料に比して低いため焼戻軟化抵抗が弱いためと考えられる。

(3) スラスト型軸受鋼寿命試験機による寿命試験結果

65 mm の棒材より 60 mm の円板を多数輪切りに旋削し、これらの円板試料を上記焼入温度

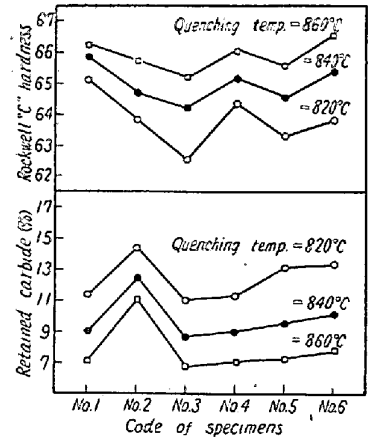


Fig. 3. Effect of the austenitizing temperature on the hardness and the retained carbide content.

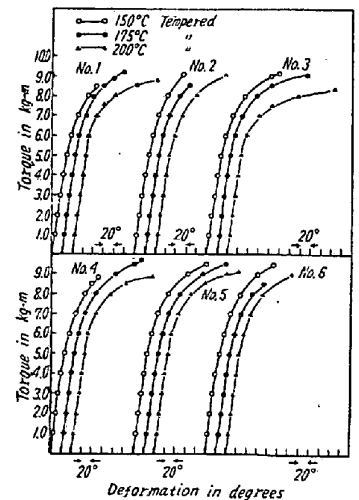


Fig. 4. Comparison of toughness by static torsion test.

840°C (ただし No.2 は 860°C) × 40mn 加熱後油焼入し、150°C × 1h の焼戻処理した。この熱処理した円板試料を平面研磨盤でもって研磨した。研磨砥石は 60# アランダム砥石と 120# ホワイト・アランダム超仕上げ砥石を使用した。さらに研磨後ビュラー製(米国)の 04 番エメリーで手仕上げ研磨を行なった。表面粗さを小坂式粗さ計で測定し、各試料の円板表面粗さは 0.3~0.6μ 程度であった。Fig. 5 にその一例を示す。試料は No.5 の円板試料である。測定の際の横倍率は 10 倍、縦倍率は 10,000 倍である。この試料の凸凹の範囲は 0.4μ 程度であることが明らかである。

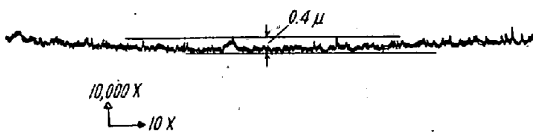


Fig. 5. Surface roughness of No.5 specimen.

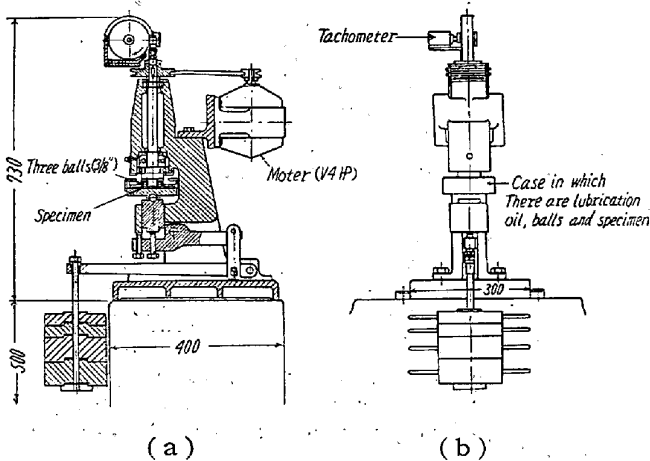


Fig. 6. Sketch of a thrust-type life test machine for bearing steels.

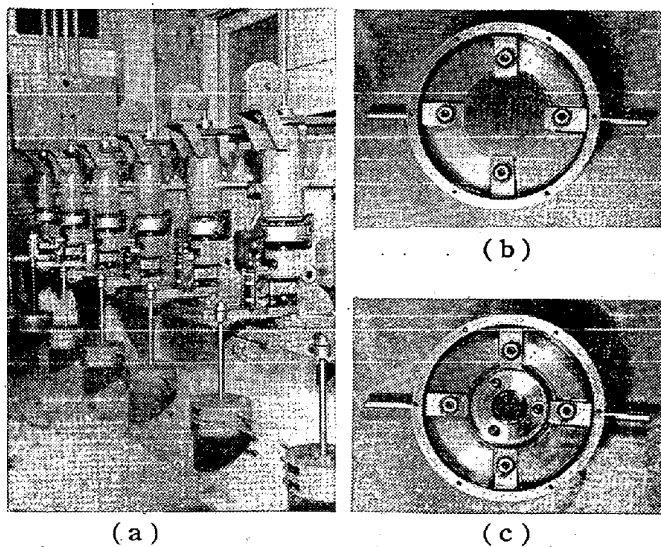


Fig. 7. Photograph of the thrust-type life test machine for bearing steels.

つぎに表面研磨した円板試料を Fig. 6, Fig. 7 に示すスラスト型軸受鋼寿命試験機でもって寿命試験した。

Fig. 6はこの試験機の平面図, Fig. 7はこの試験機の外観写真である。Fig. 7 (b)のようなケースに円板試料を入れて4点で締め付ける。この円板試料の上に 3/8" φの3コのボールが Fig. 7 (c)のように乗り、この3コのボールの位置を一定に保つために真鍮製の保持器がボールにかぶさる。つぎに3コのボールの上に 51305#のスラスト・ベアリングのレースが乗る。そしてこのケース中に潤滑油として 60# スピンドル油を 8 分目程度入れる。このケースを Fig. 6(a) に示すようにセットし、このケースはカンティ・レバーにより下より上に持ち上げる力を受ける。1/4HP のモーターで縦シャフトを回転させて、シャフトの下部端面に嵌合している51305#のスラスト・ベアリングのレースを廻転させる。すると、円板試料上のボールが一定の円軌道でもって廻転し、円板試料上に点接触の繰返疲労を与える。

スラスト・ベアリングのレースが2回転すると丁度3コのボールが1回転して元の位置にかえる。本試験機では1分間に約900回ボールが円軌道の1点を通過する。本試験機の回転数は Fig. 6(b) に示すような位置に取付けた回転計で読取る。このようにして寿命試験を実施しフレーキングが発生するまでのボールの通過した繰返し数を求める。

この試験機のカンティ・レバーの上に振動ピックアップ (Fig. 7 (a)) を取付け、円板試料が転り疲労してフレーキングを生ずると、その上をボールが通過するたびごとに異常振動を生じ、その機械的振動を振動ピックアップにより電気振動に変換し増巾器を通して制御回路に導き、規定値以上の振動になったときリレーが動作し試験機の運転を停止させる振動監視装置が設置されている。本装置の構成は振動ピックアップ、増巾器、指示回路、制御回路、校正回路および電源部より成り、その系統図は Fig. 8 のとおりである。新しい円板試料の廻転始めのときの振動は 3~5μ 程度であるので、Fig. 8 のスイッチ (A) を校正回路 (calibration circuit) の方に切換えて、振動の規定値を 10μ にセットし、試験中はスイッチ (A) を上方、すなわち積分回路 (integrated circuit) につないでおくのである。そうすると 10μ 以上の振動を生じた場合自動的にモーターのスイッチを切るとともに信号のブザーが鳴るようになっている。

つぎに、円板試料とボールの間のヘルツの最大接触圧力 (P_{max}) を求める式は下記のとおりである。³⁾

$$P_{max} = 471 \sqrt[3]{\frac{P}{d^2}} \text{ (kg/mm}^2\text{)} \dots\dots\dots (1)$$

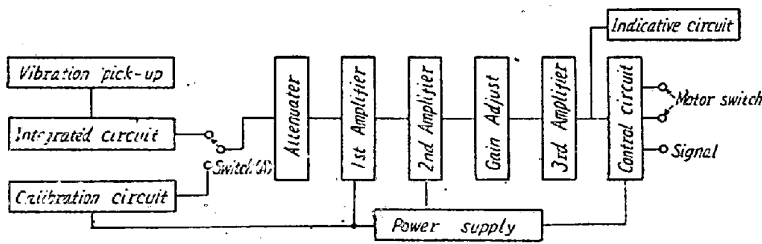


Fig. 8. Block diagram of the vibration watch apparatus.

ここでPは荷重(kg), dはボールの直径(mm)である。本実験の場合ボールの直径は3/8"で, $P_{max}=500$ kg/mm² になるようにPを計算して, 試験機の分銅を調整した。いずれの円板試験片も $P_{max}=500$ kg/mm² の条件で, 60# スピンドル油の潤滑油の下で繰返し転り疲労試験を受けたことになる。従来の試験結果より, 転り疲労試験のばらつきは対数正規分布をなすことが知られているので, 上記試験結果を対数確率紙にプロットすれば Fig. 9 のようになる。大体3つのグループに分れ

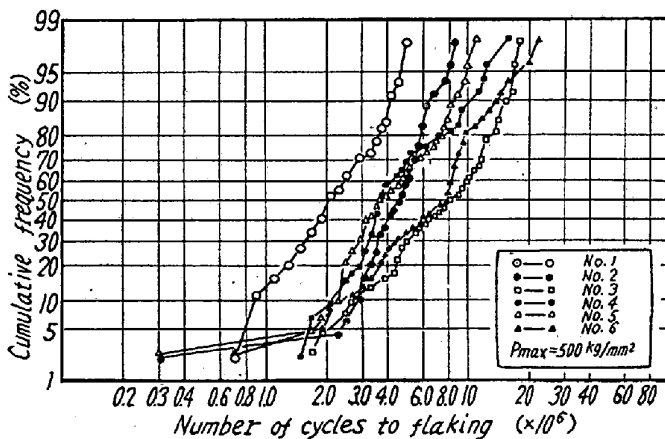
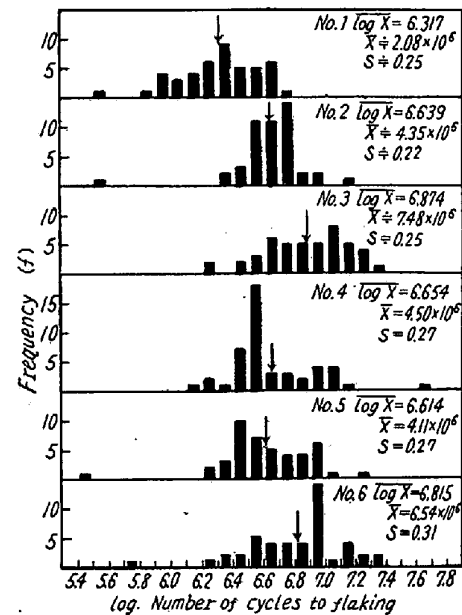


Fig. 9. Graphical presentation of a cumulative frequency distribution of number of cycles to flaking.

ている。すなわち, トップグループは No. 3 と No. 6, 中間のグループは No. 2, No. 4, No. 5, 最低のグループは No. 1 である。この No. 1 は市販軸受鋼と同じ原料配合割合で "silicious slag" のもとで溶解されたものである。トップグループの内では No. 3 がもつとも良く, 原料配合割合は社内屑 50%, 海綿鉄 50% のものである。いずれも大体において直線的関係を示すとみてよいので, 横軸を繰返数の対数値を取り, 縦軸を度数とする度数分布図を示せば, Fig. 10 のようになる。(图中 $\log \bar{x}$ は対数平均値, \bar{x} は平均値, S は標準偏差を示す)

トップ・グループの No. 3 と No. 6 のフレーキング発生までの繰返数の平均値はそれぞれ 7.48×10^6 回,

6.54×10^6 回で, 標準偏差はそれぞれ 0.25, 0.31 である。No. 6 は 100% 海綿鉄の配合のものである。それで社内屑 50%, 海綿鉄 50% 配分の No. 3 は海綿鉄 100% 配合のものよりも繰返数の平均値もばらつきの程度も良好であるといえる。ただし繰返数の平均値の差の検定の結果では, 有意水準 5% では No. 3 の繰返数の平均値は No. 6 のそれよりも良好であるとはいえない。



$\log \bar{x}$: Mean value of log. number of cycles
 \bar{x} : Mean value of number of cycles
 S: Standard deviation of log. number of cycles

Fig. 10. Graphical presentation of frequency distributions of log. number of cycles to flaking.

中間グループの No. 2, No. 4, No. 5 の繰返数の平均値はそれぞれ 4.35×10^6 回, 4.50×10^6 回, 4.11×10^6 回で, 標準偏差はそれぞれ 0.22, 0.27, 0.27 である。いずれの間にも有意水準 5% では有意差はない。No. 2 は市販の原料配合割合のものに V を 0.2% 添加したもので, No. 1 の繰返数の平均値 2.08×10^6 回に比してかなり良好であり, また標準偏差も No. 2 の方が No. 1 に比して良い。平均値の差の検定の結果では, 5% の有意水準でもつて有意差があるので, V の 0.2% の添加は軸受鋼の寿命に対してかなり有効であることが知られる。No. 4 の 50% 砂鉄銑, 50% 海綿鉄, No. 5 の 25% 社内屑, 75% 海綿鉄の配合割合のものはあまり良い成績を示さなかったが, その原因については今後充分の検討を必要とする。

IV. 結 言

以上原料配合割合を変えて溶製した軸受鋼第2種の実験結果を総括するとつぎのような結論を得る。

- (1) 海綿鉄を50%以上原料に配合すると、Cu, Mo, Snの微量不純元素がいちじるしく減少する。
- (2) 海綿鉄の配合割合が多くなるにつれて、A型介在物とC型介在物(新学振法第3法)の面積率が多くなる傾向を示し、B型介在物量にはあまり差異がない。介在物の総量は海綿鉄の配合割合とともに多くなっている。
- (3) いずれの試料の球状炭化物の径の平均値も $0.84\mu \sim 1.04\mu$ の範囲であり、外国軸受鋼の球状炭化物の大きさに比して炭化物が大きいと思われる。
- (4) 炭化物のオーステナイト中への固溶に対する挙動はNo.2を除いていずれの試料もあまり変化はない。No.2は0.2% Vが添加されているため、炭化物が固

溶し難くなるものと思われる。

(5) スラスト型軸受鋼寿命試験機による寿命試験結果によると大体3つのグループに分れ、寿命良好なトップ・グループは50%海綿鉄+50%社内屑配合のNo.3と100%海綿鉄配合のNo.6とであり、中間グループは0.2%V添加のNo.2, 50%砂鉄銑+50%海綿鉄配合のNo.4および75%海綿鉄+25%社内屑配合のNo.5とであり、最低のグループに属するものは市販軸受鋼と同じ原料配合割合のNo.1のものであった。

終りに、御指導を賜った河田部長および試験機の設計に協力していただいた機械試験所岡本技官に深甚の謝意を表す所である。(昭和35年9月寄稿)

文 献

- 1) 内山・上野: 鉄と鋼, 46 (1960); 4, 342
- 2) 上野・三橋・中野: 鉄と鋼, 41 (1955), 10, 1102
- 3) ESCHMANN, HASBARGEN & WEIGAND: Die Walzlagerpraxis, (1953)

溶融亜鉛浸漬鍍金の華に関する研究*

美馬源次郎**・梶川 和男***・加藤 直****

Study on the Spangle in the Hot-Dip Galvanized Coating.

Genjiro MIMA, Kazuo KAJIKAWA and Tadashi KATO.

Synopsis:

The investigation dealt with the influence of aluminium, and tin additions on the spangles (flowers of zinc) on galvanized coating which are of commercial importance because of their pleasing and aesthetic appearance. The spangles of the galvanized coating produced by using the electrolytic-grade zinc baths and the electrolytic zinc baths contained with 0.5 w/o or lower aluminium content were formed the grain-shaped spangles with a weak contrast. On the other hand, the spangles of galvanized coating, by using an electrolytic zinc bath with about 0.1 w/o or higher tin concentration, resulted in the larger and regular spangles with a feathering aesthetic appearance.

It was possible to find a satisfactory explanation for such influence of nucleation of spangles as function of coating time gives a similar shape to the formal frequency of nucleous formation as a function of supercooling. The macro- and microscopic growth of spangles were found to have the linear rate.

I. 緒 言

亜鉛びき薄鉄板の表面にできる美しいスパンゲル, すなわち亜鉛の華の形態, 大きさ, および光沢などの違いは鍍金鉄板の諸性質には影響をおよぼさないが, しかしそれらの良否は鍍金薄鉄板の商品価値, すなわち商品の等級を左右する決定的因子である。ゆえに華の状態を自

由に変えられるような科学的基礎を確立することは, 溶

* 昭和34年11月本会講演大会にて発表

** 大阪大学工学部 工博

*** 山陽特殊製鋼株式会社

**** 住友金属工業株式会社中央技術研究所

* この研究は梶川, 加藤が大阪大学工学部卒業に際して行つた研究をまとめたものである。