

浴温.....680~780°C
 浴電圧...4~8 V
 電流強度...5~10 A (陰極電流密度 0.8~1.6 A/cm²)
 電解時間...3~5 hrs

第2圖にその結果を示した。電流効率はファラデーの理論値からのずれからみて、通過電氣量と共に低下を示し、最初約 90% であつたものが約 50% に低下した。いかえれば合金濃度が高くなるにつれて陰極に集る Ca や Ba の金屬は、擴散によつて鉛中に入りにくくなる。したがつて適當な攪拌方法により Ca や Ba の合金化をたすけ電流効率を上げる必要がある。また浴組成を一定にすれば合金の成分も自由に調節できることが明白である。なおアルカリ、アルカリ土類以外の金屬例えば Cu とか Sn を添加するには、あらかじめ陰極となる溶融鉛中に合金させておくのがよい。

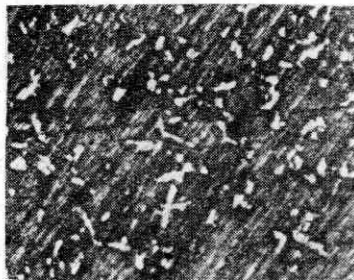
2. 各種合金の性質

1. 状態圖および顯微鏡組織 Pb-Ca, Pb-Na の状態圖はそれぞれ M. Hansen の 2 元合金状態圖集⁽⁴⁾および H. Kleiber の研究⁽⁵⁾を参照されたい。Pb-Ba 系については確かな文献が見當らないが大體 Pb と Pb₃Ba の共晶系と考えられる。重要な 2 元系状態圖の要點を一括表示すれば第1表の通り。顯微鏡組織の 1 例を第3圖および第4圖に示した。第3圖の白色の初晶は Pb₃Ca その周囲の黒色の地は溶體 + Pb₃Ca → α-固溶體の包晶反應によつてできた α-固溶體であつて、その中に微細な Pb₃Ca の析出が認められる。第4圖はさらに Ba が加つたものであるが、白色は Pb₃Ca で地は 3 元の包晶

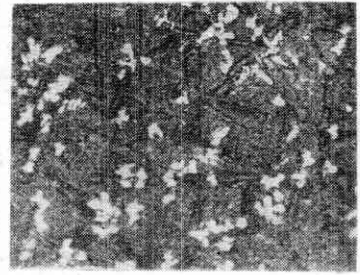
合金元素	溶解度 %	共 晶		
		組成 %	温度 °C	表はれる相
Ba	0.1~0.5	6.2	292	Pb ₃ Ba
Ca	0.01~0.1	包晶	328°C	Pb ₃ Ca
Mg	0.2~0.7	2.5	250	PbMg ₂
Sr	?	包晶		Pb ₃ Sr
Na	0.5~0.4	2.5	304	β-phase
Li	0.02~0.12	0.65	235	PbLi ₂
K	?	1.5	277	Pb ₃ K

び第4圖に示した。第3圖の白色の初晶は Pb₃Ca その周囲の黒色の地は溶體 + Pb₃Ca → α-固溶體の包晶反應によつてできた α-固溶體であつて、その中に微細な Pb₃Ca の析出が認められる。第4圖はさらに Ba が加つたものであるが、白色は Pb₃Ca で地は 3 元の包晶系と考えられる。黒色の大きな結晶は斷定を下すことはばばかるが多分 Pb₃Ba であらうと考えている。Ca や

第3圖 Pb-Ca(0.6%) × 80



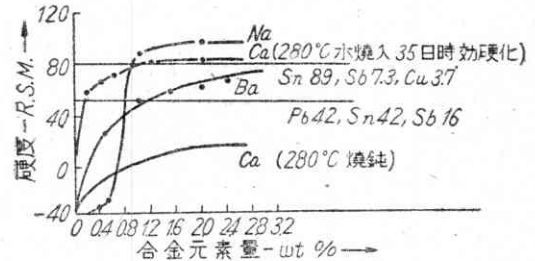
Ba 以外に Cu や Sn が少量添加されてもこの相的關係はほとんど變らず Cu ならば淡赤色球狀の結晶として存在し、Sn ならば極く微量でも Sn 側の α+Pb の共晶となつて粒界



(Ca 0.8%, Ba 1.8%) × 444
 第4圖 Pb-Ca-Ba

に集まる。この實驗では Na を多くふくむ相を腐蝕によつて出すことは非常に困難で、寫眞を撮ることができなかった。

2. 2 元合金の硬度 鉛のような重金屬格子中にアルカリおよびアルカリ土類金屬が固溶すれば原子的な大きさの關係から非常に大きな歪を發生して硬化することが豫想される。第5圖に 2 元系の硬度曲線を示した。比較



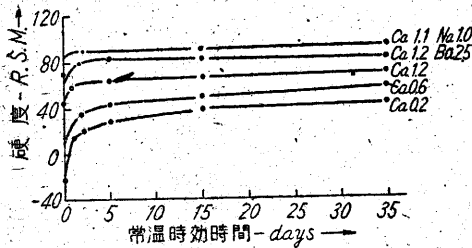
第5圖 2 元合金の硬度曲線

のため 2 種類のホワイトメタルの硬度を加えたが、アルカリおよびアルカリ土類金屬が如何に鉛を硬くするかうかがえる。圖の縦軸の R.S.M. 硬度とはこの實驗でかりに軟質金屬の硬度測定用として定めたロックエル硬度で荷重 30 kg, 1/8" 鋼球, B スケール, 完全荷重後 1 分の値である。他の硬度値との比較と第2表に示しておく。

第2表 硬度値の比較

硬 度	比 較 値				
Brinell	23.5	27	29	30.5	32
Rockwell E	-10	0	10	15	20
Rockwell SM	50	69	83	88	94

3. 時効硬化現象 これらの 2 元合金はいずれも鉛側で固溶度が變化しているの、溶體化焼入處理によつて時効硬化を起すことが期待できる。この實驗では Ca を添加した場合最も顯著な時効硬化を示し、Ba と Na ではほとんど認めることができなかった。主な時効硬化曲線を第6圖に示した。この圖に示す通り Ca はごく少量でもいちじるしく時効硬化する。Pb-Ca-Ba および Pb-Ca-Na 合金の曲線を見ると、Ba と Na はそれほど時効に關係しないが、もちろん 2 元系の場合より硬度値は高

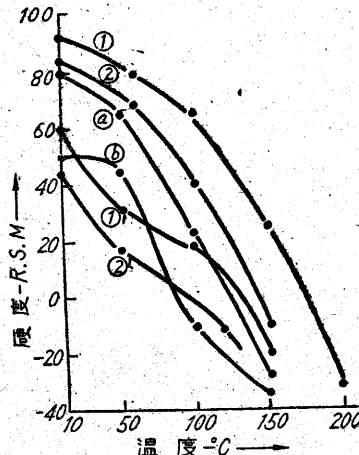


第6圖 Pb-Ca, Pb-Ca-Ba, Pb-Ca-Naの時効硬化

くなる。いずれにせよ焼入れ後10日間の放置で最終硬度が得られる。なお金型鑄造のままの場合でも同様の時効硬化を示すことが實驗的に確かめられた。またCuおよびSnの添加はあまり影響なく、Snはやや時効硬化能を低下させるようである。

4. 高温硬度 軸受は使用中局部的な發熱のために焼付きを起し事故の原因となる場合が多い。この際高温時

での硬度が高いと局部的な軟化を起さず焼付きをさけることができる。一般のホワイトメタル軸受は大部分Sn-Pb系の共晶を組織中にもつているので185°Cでその結晶境界が融けるが、この合金ではその缺點がないから高温硬度の高いことが考えられる。第7圖の結果はこれを示しており、また時効硬化したものは高温硬度が非常に改善されることも明らかである。Cuの添加



1. Ca 1.6 Ba 1.0 280°C 水焼入 5日時効
- 1'. " 280°C 焼鈍
2. Ca 0.7 Ba 0.4 280°C 水焼入 5日時効
- 2'. " 280°C 焼鈍
- a. Sn 89, Sb 7.3 Cu 3.7
- b. Pb 42, Sn 42, Sb 16

は高温硬度に對し有効であるが、上に述べた理由でSnの添加は好ましくない。

5. 耐蝕性 一般にこの合金は耐蝕性が劣るよう考えられている。それは合金系として化學的に非常に活性なアルカリおよびアルカリ土類金屬をふくむので當然であるが軸受として不都合なほどの缺點ではない。この研究でも空氣中と油中における金屬光澤の變化を定性的に觀察したが確かに純鉛やホワイトメタル軸受合金に比してはるかに速く表面の光澤を失う。この傾向はNaをふ

第3表 摩擦試驗結果

Ca%	Ba%	Cu%	荷重 W gr	摩擦力 F gr	摩擦馬力 HP	摩擦係數 μ	摩減數 w mg (5×)
0.7	1.4	0.6	400	170	6.80	0.42	0.2
0.7	1.4	1.8	400	162	6.48	0.40	0.2
0.8	1.2	2.6	400	140	5.60	0.35	0.1
0.8	1.2	3.2	400	132	5.28	0.33	0.1
0.8	1.2	0	400	160	6.40	0.40	0.4
Sn 89.0	Sb 7.3	Cu 3.7	400	176	7.04	0.44	0.4
Pb 42	Sn 42	Sb 16	400	196	7.84	0.49	0.4

$$\mu = \frac{F}{W}, H = \frac{2\pi Frn}{60 \times 75 \times 10^5} \quad n: \text{迴轉數 (r.p.m.)}$$

r: 圓板の中心から試料までの距離 (cm)

この實驗では $n=36 \text{ r.p.m.}$ $r=7.5 \text{ cm.}$

くむものが特に強く、約1%を越すと表面に炭酸ソーダが霜状に表れ、表面硬度の低下の傾向をさへ示す。耐蝕性については N. Slavinski 氏等⁽⁷⁾の研究がある。

6. 摩減量および摩擦係數の測定 測定機は本多佐藤式摩擦試驗機を用いた。その原理は鑄鐵製の迴轉圓板上に試料を摩擦させ、その摩擦力を迴轉ドラムに描かせる方式である。迴轉圓板の表面條件を一定に保つことは非常に困難であり、かつ試料の接觸面積が測定毎に變化するから一定の値を得にくい。第3表に示した測定結果は比較値として参考になるものである。ホワイトメタルに比し何等遜色のない結果を示している。

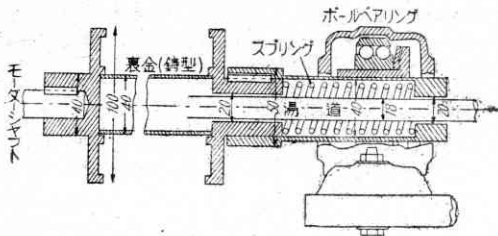
3. 溶解および鑄造

1. 溶解 この軸受合金で實驗的に問題になる點といえば溶解の困難さがまず第1にあげられる。すなわちCa, Ba, Naなどは非常に燃焼消失しやすいからである、これをふせく方法としては空氣を遮断するために被覆劑を使用するのが一般的である。被覆劑としては乾燥した木炭粉末、脱水した鹽化物などがよい。種々の被覆劑を使用し保持時間と溫度を變えた場合の精細な研究は N. Slavinski 氏等⁽⁸⁾が行つている。これによれば被覆劑を使用しない場合のアルカリおよびアリカリ土類金屬の燃焼損失が非常に大きくかつ溫度の上昇、保持時間の延長によりこれが増加していく様子が明かである。要するに充分な被覆劑を使用し適當な溫度でできるだけ短時間で溶解する必要がある。著者の行つた實驗結果によればCaとBaについて約20%の燃焼損失を見積る必要がある。從來のホワイトメタルを取扱つてきた現場では手際よくこの合金の溶解を行うには熟練を要する。溶解溫度は合金の種類により異なるがほぼ450~650°Cがよい⁽⁹⁾。

2. 鑄造 鑄造には重力鑄造と遠心鑄造の2つの方法がある。この實驗では後者を用い軟鋼製裏金の内面へ鑄着した。用いた鑄造機は試驗的に設計したものでその主要部分を第8圖に示した。鉛を主體とする合金は錫合金

第4表 Pb-Ca-Ba-Cu, ホワイトメタル,
Cu-Pb 合金の鑄造条件と分析値

試料	鑄造条件			裏金より1.5~2mm の分析値		
	温度 °C	迴轉數 r.p.m	備考	Cu%	Ca%	Ba%
1	700	1000	流動性よくない	0.05	0.33	1.31
2	700	980	"	0.65	0.29	1.16
3	800	"	流動性やや良好	0.73	0.32	0.75
4	800	"	流動性よくない	0.88	0.09	0.75
ホワイトメタル 第1種	330	"	流動性最も良好	Sn 89	Sb 7.4	Cu 3.7
ホワイトメタル 第2種	400	"	流動性よい	Sn 42	Pb 42	Sb 16
Cu-Pb	800	"	流動性悪い	約 Cu 4	Pb 96	



第8圖 遠心鑄造機主要部分略圖

にくらべて鐵面への密着性が悪いのが一般的常識となつてゐるが、この合金も密着性の悪いのが缺點である。實用合金ではこれを合金成分的に改善する意味で Sn や Cu を加えたりするがこれでも不完全であるから合金と裏金の兩方に親和性の強い錫メッキを中間にほどこすのが最も安全な方法である。鑄造操作の順序を述べると、まず hot dipping 法により裏金の内面に錫メッキをほどこして鑄造機に取付け、ガスバーナーで約 200~250°C に豫熱する。直流電動機により迴轉させながら溶湯を注入し、注入が完了すれば裏金を外部から水で急冷する。文献⁽¹⁰⁾によれば迴轉數は次式でな與えられる値が適當とされている。

$$n = \frac{1700 \sim 2100}{\sqrt{d}} \text{ r.p.m. } \quad d: \text{軸受の内徑 (cm)}$$

この實驗では $d=3.5$ cm であるから $n=900 \sim 1100$ r.p.m. となる。鑄造条件としては溶湯の温度、裏金の豫熱温度、迴轉數、冷却方法などがあげられる。

4. 偏析 遠心鑄造で注意しなければならない問題は合金成分の偏析である。偏析は色々の原因で起るのであろうが、主なものはその凝固過程と遠心力の相互關係で説明づけられる。この合金についていえば最初に晶出する軽い相は遠心力の弱い中心部に集り裏金に接した部分には重い鉛に富んだ部分が集まることになる。Pb-Ca-Ba-Cu 合金の實驗例を示すと、最初 Ca 0.73%, Ba 1.43, Cu 1.76% の均一組成であつたものが遠心鑄造の結果次のような組成分布となつた。

裏金の内面より 1.5~2 mm の距離の組成:

Ca 0.29% Ba 1.16% Cu 0.65%

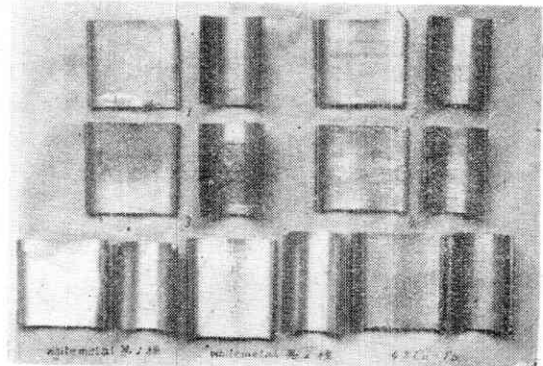
裏金の内面より 6~9 mm の距離の組成:

Ca 0.67% Ba 1.11% Cu 2.81%

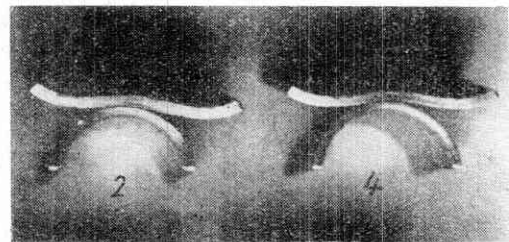
すなわち Ca, Cu は内側に集り、Ba はあまり移動しない。このような偏析をさけるには、溶湯の量を最少限に注入してできるだけ薄く鑄着しなければならない。

6. 密着性試験 軸受の出來上りの良否を決める一つの方法として、合金の裏金への密着性の可否を見ることとした。軸受を二つの半圓塊に分割し、それをアムスラー試験機で大體平坦になるまで押しつぶし、その際軸受合金の龜裂發生や裏金からの剝離狀況を観察するのである(第9圖および第10圖)。使用合金の鑄造条件と分析

値は第4表の通りである。以上の結果から合金の種類による密着性の差異を論ずることは早計であるが、裏金に



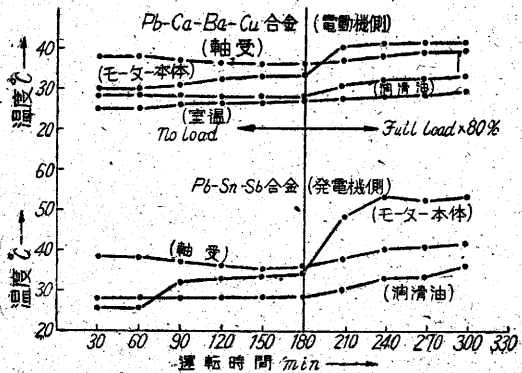
第9圖 Pb-Ca-Ba-Cu, ホワイトメタル,
Cu-Pb 合金の密着狀況



第10圖 Pb-Ca-Ba-Cu 合金の断面
錫の地下メッキさえほどこせば他のホワイトメタルと同等の密着状態が得られることは結論できる。

5. 電動機用軸受としての性能試験

東芝三重工場の好意によりこの合金を使用して 6 pole 20 HP の電動機用軸受を作り、ホワイトメタル軸受と性能の比較試験を行つた。使用合金は Pb-Ca-Ba, Pb-Ca-Na, Pb-Ca-Ba-Cu, Pb-Ca-Na-Cu, Pb-Ca-Ba-Sn, Pb-Ca-Na-Sn 系の 3 元および 4 元合金である。試験方法は 2 臺の 6 pole, 20 HP 電動機をベルト掛けして一方を電動機として驅動し他方は發電機として動かし、負荷の調節はベルトの張力で大體 full load または no load にし



第 11 圖 6 pole 20 HP 電動機軸受の性能試験 (東芝三重工場)

た。軸受部、電動機本体、油の温度上昇の様子を比較した 1 例が第 11 圖である、なお比較のため使用したホワイトメタルの成分は Pb79%, Sn5%, Sb16% であり、他方は Pb98%, Ca1%, Ba0.5%, Cu1% であつた。軸受の温度は最初軸になじむまでは上昇し、なじみ切つてしまうとまた低下を初める。つぎに、no load から full load に移行してまた上昇する。その傾向は電動機本体の電氣的温度上昇と傾向を異にする。油の温度上昇は軸受のそれに似ているが鈍感である。ホワイトメタルとこの合金の軸受の間に得られた温度上昇曲線の比較からは軸受そのものによる明瞭な差異を認めることはできない、優劣の判断は長期の耐久試験か他のよりよい試験方法にまたねばならない。

5. 總 括

以上に述べたアルカリおよびアルカリ土類金屬をふくむ鉛合金全般に亘る研究結果を要約すれば、

1. 溶解鹽電解による合金の製造を検討し所定の成分

合金を電解するための電解條件を定めた。

2. 合金の諸性質中硬度耐摩耗性等はホワイトメタルに遜色ない。耐蝕性は劣るが高温硬度はまさつてゐる。多くの實驗の結果 Pb-Ca-Ba-Cu 系が最も望ましい性質を具備しているという結論に達した。
3. 溶解および鑄造は酸化防止が相當困難であるが、乾燥木炭粉を充分被覆することによつてほぼ目的を達することができる。鑄造は重力鑄造の檢討を行つていないが、遠心鑄造では偏析を最も注意しなければならない。
4. 軸受としての性能もホワイトメタル系にくらべて何等劣つていないことは摩耗試験、密着試験、電動機軸受としての驅動試験など一連の研究の結果として結論できる。

6. 結 語

以上の研究は約 3 ケ年にわたる實驗結果の綜合的報告であり大部分の實驗記録は煩雜に過ぎるので省略した。この研究は主として文部省科學研究費および同試驗研究費により行われた。最後に共同研究を引受けていただいた東芝三重工場の各位に謝意を表明する、

文 献

- (1) 加藤正夫, 西川精一: “時効性鉛軸受合金に関する研究. 第 1 報”, 昭和 23 年 4 月日本金屬學會講演
加藤正夫, 西川精一: “同第 2 報”, 昭和 23 年 10 月日本金屬學會講演
- (2) R. Kühnel: “Werkstoffe für Gleitlager”, Berlin Julius Springer, 1939.
- (3) Kenneth W. Ray: “Metals & Alloys, Vol. 1. Sépt., 1929
- (4) M. Hansen: “Der Aufbau der Zweistofflegierungen”, Berlin Julius Springer 1936
- (5) H. Kläiber: Z. Elektrochemie, Bd. 42 (1936), s. 258-264
- (6) (2) の p. 371
- (7) N.P. Slavinski, A.V. Shashin, u. N.S. Filin: Metallurg, Bd. 3 (1935), s. 66-81 (Russ.)
- (8) (7) に同じ, (9) (2) の p. 327, (10) (2) の p. 77

生産技術研究所報告 - 第 2 卷 第 3 號豫告

原田正道著「木船の縦強度」

内 容 西洋型構造の木船は、細長い數多の木材を釘でたがい打ちつけあつた——いわばマッチ棒を束ねたような——構造をしているので、その強度を計算するのに從來の鋼船を對象として發達してきた船體構造理論をそのまま應用してよいかという疑問があつた。この論文は木船構造を理論的に解析した最初のもので、多くの問題點を残しているが一應木船構造理論の端緒を開いたものである。船體各部に生じる應力、船體の撓み、撓みを減少させるための斜帶板の作用等につき理論を展開し、特に木船構造の最弱點が釘による固着部にあることを明らかにし、木材を固着する釘の設計方法を實驗と理論によつて研究している。

次號豫告 第 3 卷 第 11 號 (11 月號)

研究 薄膜とその應用	久保田 廣
氣流の燃焼	水町 長生
蒸気爆碎 (木材の爆碎)	桑井 源 禎 井出 哲 夫 北條 護 二
カーブを曲る自動車の動き	星 莖 和
IV 型金屬組住宅	星野 昌 一
不純なアルミニウムの陽極酸化被膜
.....	西川 精 一
マイクロ波の給電線	森脇 義 雄 猪 瀬 博
その他 速報, 實驗ノート, 生研ニュース等