研究

P を添加した Cu-Sn 系含油軸受用合金の焼結現象と 高荷重下での軸受運転性能について*

河 野 通**, 西 野 良 夫**

Tohru Kohno and Yoshio Nishino: Sintering Phenomena of Cu-Sn Alloy Added Phosphorus for Oil Impregnated Bearings and Some Running Performance under Heavy Load Condition.

Effects of the addition of phosphorus (0.2~0.8%) to Cu-9%Sn compacts which was standard composition of conventional bronze oil impregnated sintered bearings were examined during sintering process. The bearing running test was also carried out under the heavy load condition for Cu-base oil impregnated bearings on Cu-9%Sn-0.4%P bearing.

The results obtained were as follows;

- 1) By the addition of phosphorus, Cu-Sn compacts were remarkably strengthened. For example, the radial crushing strength of the compact added 0.4% phosphorus, pressed at 2 t/cm² and sintered at 700°C for 30 min., was 11 kg/mm² higher than that of the non-phosphorus compact.
- 2) On the case of addition of phosphorus above 0.4%, the swelling phenomena during sintering process, which occur above peritectic temperature (798°C) in ordinary mixed Cu-Sn powder compacts were not observed. The reason was seemed that owing to the addition of phosphorus alloying of Sn had progressed sufficiently through the sintering below peritectic temperature.
- 3) Sinterability of mixed Cu-Sn powder compacts was extremely enhanced by the addition of phosphorus. With the progress of sintering, large pores became larger, but on the contrary small pores became smaller and gradually disappeared. So, the oil impregnated sintered Cu-Sn-P bearings having large size pores and high strength can be produced by selecting the proper sintering conditions.
- 4) In the running test, Cu-9%Sn-0.4%P bearings showed excellent bearing performance even under the heavy load condition ($P=20$ kg/cm², $N=4,000$ rpm, $PV=2,000$ kg/cm²·m/min) in which the oil impregnated pores were closed by the plastic flow of the rubbing surface in the conventional sintered Cu-9%Sn bearings.

(Received August 30, 1982)

I 緒 言

一般に Cu 系含油軸受は、なじみ性や異物の埋没性に優れるが、Fe 系含油軸受と比較して耐荷重性に劣る。そこで著者らは、耐荷重性のある Cu 系含油軸受の開発を目的として、従来の Cu-Sn 系に P を添加した軸受の製造を試みた。今回は、P を添加した Cu-Sn 系合金の焼結現象と高荷重下での二、三の軸受運転性能について述べる。

II 実験方法

II-1 焼結現象に関する実験

本実験に使用した原料粉末は、電解 Cu 粉（福田金属箔粉工業；CE-15）、噴霧 Sn 粉（同；Sn-At-W-250）、および噴霧リン銅粉（日本アトマイズ加工；共晶組成-350

mesh）である。

まず、これらの原料粉末を Cu-9%Sn および Cu-9%Sn-0.2%P、-0.4%P、-0.8%P 組成になるように、それぞれ混合し、2t/cm² で成形（圧粉密度 6.18~6.30 g/cc）して内径 8mm、外径 16mm、長さ 8mm のジャーナル軸受型試料を作製した。焼結は、H₂気流中で所定の焼結温度でそれぞれ 30min 行なった。焼結後、焼結体の圧環強さ、寸法変化、密度および含油率を測定した。さらに必要に応じて光学顕微鏡および EPMA により組織観察を行ない、P を添加した Cu-Sn 系合金の焼結現象について考察を加えた。P を添加した軸受の焼結は 730°C、添加しないものは 790°C で行なった。

* 昭和56年5月本協会春季（京都）大会にて発表、昭和57年8月30日受理

** 三菱金属中央研究所、〒330 大宮市北袋町1-297

II-2 軸受運転性能に関する実験

本実験に用いた Cu-9%Sn 組成軸受および Cu-9%Sn-0.4%P 組成軸受は、通常の量産工程（混合-成形-焼結-サイジング）で製造されたものである。その寸法は、内径8mm、外径16mm、長さ8mm であり、物理および機械的特性を Table 1 に示した。

軸受性能試験は、荷重 $P=20\text{kg/cm}^2$ 、回転数 $N=4,000\text{rpm}$ （周速 $V=100\text{m/min}$ 、 $PV=2000\text{kg/cm}^2\cdot\text{m/min}$ ）の条件下で 5hr 行ない、Fig. 1 に示したように、運転開始直後の最大軸受温度 (T_s)、定常運転時の軸受温度 (T_R) および摩擦係数 (μ_R)、運転開始から定常運転に達するまでの“ならし時間” (t_c) を測定した。回転軸は、炭素鋼 (S45C) を調質して硬さ約 $HRC30$ にして、表面粗さは $1S$ 以下の鏡面仕上げしたものをを用いた。軸受と回転軸のクリアランスは、本実験ではすべて、 $25\sim30\mu\text{m}$ の範囲に設定した。潤滑油は、粘度の異なる 2 種類の合成油を使用した。Table 2 に、油の比重および各温度での動粘度を示した。運転中、室温は $25\pm2.5^\circ\text{C}$ に保った。実験後、軸受摺動面を SEM により観察した。

Table 1 Physical properties of the test bearings.

Bearing	Density g/cm^3	Oil content vol %	Radial crushing strength kg/mm^2	Hardness H_V (1 kg)
Cu-9 Sn	6.55	26.6	17.0	33
Cu-9 Sn-0.4 P	7.15	19.1	39.9	48

Fig. 1 Schematic representation of relation between coefficient of friction (μ) or bearing temperature (T) and running time.

Table 2 Specific gravity and viscosity of the lubricant oils.

Oil	Specific gravity at 25°C	Kinematic viscosity cst		
		98.8°C	37.8°C	-40.0°C
A 465	0.91	12.2	63.0	32500
A 402	0.93	3.5	12.8	1460

III 実験結果および考察

III-1 焼結現象に関する実験

Fig. 2~3 は、Cu-9%Sn および Cu-9%Sn-0.2%P、-0.4%P、-0.8%P 組成について、焼結温度に対する圧環強さ (Fig. 2)、寸法変化、密度および含油率 (Fig. 3) の変化をそれぞれ示したものである。まず、Fig. 2 から

Fig. 2 Relation between sintering temperature and radial crushing strength constant of Cu-9Sn compacts added phosphorus (0~0.8%).

Fig. 3 Relation between sintering temperature and dimensional change, sintered density and oil content of Cu-9Sn compacts added phosphorus (0~0.8%).

分かるように、Pの添加による圧環強さの増加は極めて大きく、例えばPを0.4%添加して700°Cで焼結した場合には、Pを添加しないものに比べて約11kg/mm²の圧環強さの増加が認められる。さらに、Pの添加によって、延性も増大し、0.2%添加では800°C以上、0.4%添加では750°C以上、0.8%添加では650°C以上でそれぞれ焼結した場合、試料の破断が生じなくなる。

つぎに、Fig. 3に示した焼結温度に対する寸法変化、密度および含油率の変化をみると、0.2%のP添加では、Pを添加しないCu-9%Snとほぼ同じような様相を示すが、Pを0.4%および0.8%添加すると、大きな変化が認められる。すなわち、Cu-9%SnおよびCu-9%Sn-0.2%P組成では、800°Cまでは焼結温度の上昇に伴って、試料はほぼ直線的に収縮する。従って密度は増加し、含油率は減少する。しかし800°Cを越えると、大きな膨張が現われ、密度が低下し、含油率が増加する。この現象は、Cu-Sn系の包晶点（厳密には798°C）で発生する液相によりCu-Snの拡散が急激に進むためと考えられている⁹⁾。Pを0.4%および0.8%添加した試料では、このような膨張現象は認められない*。

この原因は、Pの添加によりSnの合金化がすでにCu-Sn系の包晶点より低い焼結温度で充分に進んでいるためと考えられる。Photo. 1およびPhoto. 2にCu-9%SnおよびCu-9%Sn-0.4%P組成試料についてそれぞれ750°Cで焼結した場合における各元素の分布状態をEPMAにより観察した結果を示した。Cu-9%Sn-0.4%P試料においては、PおよびSnがほぼ均一に分布しているが、Pを添加しないCu-9%Sn試料では、Snの流出孔⁹⁾と思われる気孔の近くにSnの偏析が明確に認められる。また、Fig. 3にもどってCu-9%Sn-0.4%P

Photo. 1 EPMA images of Cu-9%Sn compact sintered at 750°C for 30 min.

組成では約750°C以上、Cu-9%Sn-0.8%P組成では約700°C以上でそれぞれ大きな収縮がみられその結果、密度は増加し、含油率は減少する。これは、一度ほぼ完全に固溶したPが高温側でマトリックスのPの固溶度が減じる⁴⁾ために、粒界にそってPリッチの液相が発生するために起こる現象である。Photo. 3にCu-9%Sn-0.4%P組成試料を800°Cで焼結した場合のEPMAによる観察結果を示した。粒界にそってPリッチ液相が発生した様

Photo. 2 EPMA images of Cu-9%Sn-0.4%P compact sintered at 750°C for 30 min.

* 本実験に使用したものより粗いCu粉（例えばCE8；福田金属箔粉工業）を使用したCu-9%Sn-0.8%P組成混合粉を比較的高い圧力（例えば3.6 t/cm²）で成形することにより、

焼結による収縮の要因を比較的小さくして焼結すると、約650°C程度でCu-Snの合金化が急速に進むために生じると思われる膨張が認められる⁹⁾。

Photo. 3 EPMA images of Cu-9%Sn-0.4%P compact sintered at 800°C for 30 min.

相が明確に認められる。

Photo. 4 は、Cu-9%Sn および Cu-9%Sn-0.4%P 組成試料の 650°C~800°C における焼結温度に対する気孔組織の変化を示したものである。これをみると 700°C 以上の焼結で P の添加による気孔組織の変化が明確に認められる。P を添加した試料では、焼結性が極めて良好であることを窺わせ、微

Photo. 4 Changes of the pore structures of Cu-9%Sn and Cu-9%Sn-0.4%P compact against sintering temperature.

A; Cu-9%Sn, B; Cu-9%Sn-0.4%P
a; 650°C, b; 700°C, c; 750°C, d; 800°C.

細な気孔は消滅し、粗大な気孔はますます粗大化していく。750°C で焼結した場合、電解 Cu 粉のデンドライト間で形成される微細な気孔は、ほとんど完全に消滅している。800°C 焼結では、極めて粗大な気孔が認められるが、前述したように、粒界に発生する P リッチ液相による密度上昇のため、ほとんどの気孔が独立気孔であろうと思われる。P を添加しない Cu-9%Sn 組成では、前述したように、800°C を越える焼結により大きな膨張が表われる。800°C 焼結でも、組織的には一部すでにこのような現象が現われており、写真に示す粗大気孔は、798°C で発生する包晶液相により形成されたものと思われる。

III-2 軸受運転性能に関する実験

Table 3 に高荷重 ($P=20\text{kg/cm}^2$) 下での軸受性能試験結果をまとめて示した。Cu-9%Sn-0.4%P 軸受は、運転開始直後の最大軸受温度、定常時の軸受温度と摩擦係数、および“ならし時間”のすべての測定項目において、従来の Cu-9%Sn 軸受より優れた性能を示している。“ならし”の完了した安定した定常状態では、いずれの軸受においても粘度の低い潤滑油 (A402) を使用した場合の方が、軸受温度、摩擦係数共に低い値を示す。しかしながら、起動時では、粘度の低い潤滑油は、それだけ油膜厚さが薄く、粘度の高い潤滑油 (A465) と比較して過滑状態になりやすい。従来の Cu-9%Sn 軸受の運轉酷な境界潤滑開始直後の最大軸受温度 (105°C) は、この様相を示している。この軸受が実際の機器に組み込まれた場合、最悪の時はこの段階で焼き付いてしまうと思われる。一方 Cu-9%Sn-0.4%P 軸受の運轉開始直後の最大軸受温度は、Cu-9%Sn 軸受と比較していずれも低く、かつ粘度の低い潤滑油を使用した場合 (53°C) より、粘度の高い潤滑油を使用した場合 (66°C) の方が高い値を示している。このことは、Cu-9%Sn-0.4%P 軸受においては起動時の過酷な境界潤滑状態と言えどもその程度は、油の粘度の影響が十分に影響を与えるような程度であり、Cu-9%Sn 軸受と比較して極めて安定した起動時の潤滑状態を示していると言えよう。Photo. 5 および Photo. 6 は、試験前後の摺動面の様相を SEM によって観察した結果である。Cu-9%Sn 軸受では、高荷重による摩擦面の塑性流動により微細な気孔はほとんど封孔されている。比較的粗大な気孔においてもその底部にクラックが認められる。一方、Cu-9%Sn-0.4%P 軸受では、試験前後での摩擦面の気孔の封孔はほとんど認められない。

Fig. 4 は、安定時の摩擦係数 (μ) と PV 値との積、すなわち、軸受で発生する熱エネルギーに比例

Table 3 Results of the running test.

Bearing	Oil	Initial stage T_s °C	Regular stage		t_c hrs
			T_R °C	μ_R	
1-237	A 402	110 (105)	60 (55)	0.044 (0.041)	4.5 (4.0)
1-242	"	99	50	0.038	3.5
1-235	A 465	86 (78)	62 (70)	0.053 (0.068)	2.2 (1.6)
1-241	"	70	77	0.083	1.0
T1-41	A 402	48 (53)	33 (35)	0.010 (0.014)	0.8 (1.0)
T1-42	"	58	36	0.017	1.2
T1-83	A 465	57 (66)	50 (47)	0.034 (0.027)	0.6 (0.9)
T1-39	"	75	43	0.019	1.2

1; Cu-9Sn

 $P=20 \text{ kg/cm}^2$, $N=4,000 \text{ rpm}$ ($V=100 \text{ m/min}$), 25°C

T1; Cu-9Sn-0.4P

Photo. 5 SEM images of the sliding surfaces of the bearings before running.

A; Cu-9Sn, B; Cu-9Sn-0.4P.

Photo. 6 SEM images of the sliding surfaces of the bearings after running ($P=20 \text{ kg/cm}^2$, $V=100 \text{ m/min}$, Oil: A 402, 5 hrs).

A; Cu-9Sn, B; Cu-9Sn-0.4P.

Fig. 4 Relation between $PV\mu$ and bearing temperature under the regular state of the running ($P=20 \text{ kg/cm}^2$, $V=100 \text{ m/min}$).

する量、 $PV\mu$ と軸受温度 (T) との関係を示したものである。 $PV\mu$ と T には直線関係が認められ、本実験では、 μ と T が正確に測定されたことを表わしている。

IV 結 論

従来の青銅系含油軸受の代表的組成である Cu-9%Sn 組成に P を 0.2~0.8% 範囲で添加して、焼結時における P の添加効果について検討した。そして、Cu-9%Sn-0.4%P 組成軸受に関して、Cu 系含油軸受としては高荷重領域で軸受運転試験を行なった。得られた結果を要約すると以下ようになる。

1) P の添加によって強度が著しく増加し、例えば P を 0.4% 添加して 700°C で焼結した場合には、P を添加しないものに較べて約 11 kg/mm^2 の圧強の増加が認められる。

2) P を 0.4% 以上添加すると、通常の Cu-Sn 系混合粉の焼結で起こる包晶点 (798°C) 以上での膨張現象は認められない。この原因は、P の添加により Sn の合金化が Cu-Sn 系の包晶点より低い焼結温度ですでに充分に進んでいるためと考えられる。

3) Cu-Sn 系に P を添加すると極めて焼結性が良く、組織の上からは、焼結の進行と共に微細気孔は消滅し、粗大気孔はますます粗大化する。

4) 従来の Cu-9%Sn 組成軸受では、摩擦面の塑性流動によって含油孔が封孔してしまうような高荷重領域 (本実験では、 $P=20 \text{ kg/cm}^2$, $N=4,000 \text{ rpm}$, $PV=2,000 \text{ kg/cm}^2 \cdot \text{m/min}$) でも、強度が高く、粗大気孔を有する Cu-9%Sn-0.4%P 組成軸受は、極めて優れた運転性能を示した。

終りに、実験に協力していただいた中央研究所・沢口弘志氏並びに軸受を製造していただいた新潟製作所・西江宏、橋茂幸および関本徹雄の緒氏に心より感謝する次第である。

文 献

- 1) 例えば渡辺：名古屋工業技術試験所報告，**5** (1956)，124.
- 2) 河野・西野：粉体および粉末冶金，**28** (1981)，225.
- 3) 渡辺：日本金属学会，**19** (1955)，371，415.
- 4) M. Hansen: *Constitution of Binary Alloys*, McGraw-Hill, (1958)，608.

会 告

CORROSION OF POWDER METALLURGICAL ALLOYS

Abstracts are due by July 15, 1983, for a four-session symposium on "Corrosion of Powder Metallurgical Alloys" jointly sponsored by the TMS-AIME Powder Metallurgy Committee and TMS-MSD Corrosion and Environmental Effects Joint Committee at the 1984 AIME Annual Meeting in Los Angeles, California. Emphasis will be on the effects of microscopic and chemical homogeneity of P/M-processed alloys on their aqueous-corrosion behavior. The comparative evaluation of P/M-processed and conventional alloys will be valuable in characterizing P/M as a viable technology for producing corrosion resistant alloys.

The symposium is not limited to any specific family of alloys. The proceedings are anticipated to be published as a TMS conference volume and the authors of abstracts will be notified by August 15, 1983, of their acceptance for presentation at the symposium.

Submit abstracts of 150 words or less on the required TMS form to Dr. P. Kumar, Technology Department, Cabot Corporation, 1020 West Park Avenue, Kokomo, IN 46901, Telephone: (317) 456-6281.

ABSTRACT FORMS CAN BE OBTAINED FROM AIME AT THE ADDRESS BELOW:

THE METALLURGICAL SOCIETY OF AIME
420 COMMONWEALTH DRIVE
WARRENDALE, PA. 15086

第4回国際フェライト会議 (ICF4)

主 催：American Ceramic Society
日 時：1984年10月31日 (水) ～11月2日 (金)
場 所：Sheraton Palace Hotel, San Francisco
論文概要提出期日：未 定

論文提出期日：未 定
詳細の照会先：〒338 浦和市下大久保255
埼玉大学工学部 電子工学科
杉 本 光 男
TEL. 0488-52-2111, (内)2263