代用軸受の製造に関する研究 (第 1 報)⁽¹⁾

(昭和 18 年 10 月 3 日 新潟臨時大會講演會に於て講演)

正 員 大 野 道 雄⁽²⁾

摘 要

軸受の良否が機関性能その他に及ぶ影響の大なる事は申す迄もなく、所謂ケルメット等に就てはこの様な見地から相當研究が進められてゐるものである。併し最近急に銅が不足を來たしその代用合金として Al-系合金を各所に於て計画してゐる現状であり、數種の軸受用軽合金の性質に就て発表がなされて來た。併しこれ等代用軸受を實際多量生産するに當り如何なる点に考慮が拂はねばならぬかと云ふ製造上の立場より諸現象を考察した研究発表がなく而もこれが緊要なる点に鑑みて著者は代表的なアルミニウム軸受合金數種を選び、これ等に就て遠心鑄造、砂型鑄造、金型鑄造等を行つて見て、それらの比較をなし、且遠心鑄造に於て現はれる特殊な現象を見出し、その原因を究明するため、顯微鏡写真により組織を調査し、その結晶狀態より考察し、半径方向における偏析の影響即ち比重差等による影響より、凝固過程中における現象即ち冷却の遲速により比較的中心部に粗なる組織として、不純物の多く集合析出する傾向を発見し、中央外周に帶狀に現はれる欠陥がこの影響によるものであると云ふ事が結論され、單なる回轉數による影響とか、比重差による影響とか云ふ事よりも寧ろ合金の凝固過程の現象を考へねばならぬと云ふ事が多量生産に當つて問題となると思はれた。

1. 緒 言

軸受用として用ひるためには次の五つの性質は是非共必要條件としてその合金に備へてゐなければならない。

即ち (1) 硬度がクランク軸の硬度に対して適當なる事

(2) 熱傳導率が良好なる事

(3) 熱膨脹係数が少ない事

(4) 潤滑油等の腐蝕に耐へる事

(5) 抗圧力の十分大なる事

これ等に就てこれ迄研究されて來た代用軽合金軸受は Mg 合金としては Al, Zn, Mn 等を含んだブリネル硬度 50~78 程度のものがあり、Al 合金としては Al-Si 系、Al-Sb 系、Al-Ni-Fe 系、Al-Mn 系、Al-Cu 系、Al-Fe-Cu 系、デュラルミン系、Y 合金系、Al-Pb 系、Al-Sb-Pb-Ca 系、Al-Sn 系、Al-Sn-Cu 系等であるがこれ等の膨脹係数の最小なものと云ふ見地からは Al-Si 系が考へられるがこの合金は所謂 Si の問題がありその組織的形狀に原因する軸受性能に稜端圧力に比較的弱い事等も考慮される問題であるが Si の挙動に対する考察は日本金属學會誌に発表の予定であるが、本報告では主として最も普通に考へられてゐる Al-Sn 系、Al-Sn-Cu 系等に就てこれ迄の発表のものと多少配合率の異なつたものに就て主として製造技術上の点より鑄造法の比較による諸現象の調査を為しそれが原因を究明し、代用軸受の製造に資せんとする目的を以て行つたものである。

2. 実験合金の配合成分

実験合金の配合成分は多少これ迄発表のものとは異なつた配合率ではあるが全く同一系統で配合率の差は僅少である。

(1) Über die Schleudergießverfahren bei der Herstellung von Aluminium-Lagerwerkstoff (I Mitteilung). (2) Michio OHNO, *Mitgl'ed*. Mitsubishi Schwere Industri. A. G 三菱重工業會社. Fujiwara Technische Universität. 藤原工業大學.

併し硬度は相當な違ひを示してゐるのは製造法の相違が最大の原因をなして來てゐるものである。故に需要者としては單に合金の成分 % を指定するのみでは危険である事に注意しなければならない。互に緊密なる連絡が必要なる事を痛感するものである。

第 1 表

	Al	Sn	Cu	Ti	Mn	Mg	Si	Ni	Na
A	残	4.0	4.0	0.5	1.5		0.6		
B	〃	13.0	1.0	0.5	0.7		0.6		
C	〃	10.0	1.0	1.0				0.5	
D	〃	10.0	1.0		0.5				
E	〃		1.5		0.5	0.5	21	1.5	0.1
F	〃		0.8			1.0	12	2.5	

3. 鑄 造 方 法

遠心力鑄造法にて製造する事は緻密な材質を多量生産出來得る様に一般に考へられるが、偏析その他本報告に発表する如き現象に就て特に考慮しなければならないものである。先づ熔体と結晶との比重差により偏析せんとする傾向がある。凝固溫度範圍が小さい合金であるところの偏析現象は少いのであるが、方法として考へられる事は偏析を防止するために次の 4 項目が考へられる。即ち

(1) 急冷却を行ふ事

(2) 回轉數をなるべく少くする事

(3) 偏心を出來るだけなくす事

(4) 鑄物の厚みを出來るだけ薄くする事

等であり、ケルメットに対し Saurer 社では 400~800 rev/mn をとつて居り、A. Vöth の実験によると 650 rev/mn となつてゐる。Al 合金の場合はケルメット合金と異なり所謂 Pb の偏析を考慮する必要なく、相當趣を異にするものであるが比重によつての影響が Al 合金に対し相當大きな因數な

らは回転数が大なる時は半径方向にそれが顕著に現はれる筈である。この程度を確かめるべく本研究では回転数を特に 1050 rev/mn, 予熱温度約 400°C, 鋳込温度約 680°C 程度で行つてみた。裏金は後述する様な理由により用ひず、配合材料を第 1 図の如き取付具中心より流入させると同時に第 2 図の如き装置により回転運動を與へたものである。鋳造後冷却すると Al 合金と金型とは縮率が異なるため隙間が生ずるが抜き取る

第 1 図

第 2 図

事困難のため勾配を附し操作を容易にした。その一例を示すと第 2 表の如くである。

第 2 表			
金型寸法		Al 合金	
No. 1	130・12 mm	129・38 mm	差 0・7
	130・07 mm	129・34 mm	
金型肉厚 5 mm		Al 合金 肉厚 29 mm	
No. 2	127・46 mm	127・43 mm	差 0・5
	127・40 mm	126・90 mm	
金型肉厚 6 mm		Al 合金 肉厚 28 mm	

4. 代用軽合金軸受設計に対する考察

軽合金は良い軸受性⁽³⁾はあるが一般に熱膨脹係数が大で且抗圧力が小であるから、軸受温度が上昇すると自由に膨脹出来ず種々な欠陥を伴ふ。その対策として Alfred Buske は型の改良を研究しこれを解決せんとしてゐる。抗圧力に対し

(3) Bearing Quality.

ては回転速度 8 m/s 程度でも軟質の軸受に対して 600~800 kg/cm² 程度の圧力でも油圧は 1800~2500 kg/cm² にもなる事は念頭に置かなければならぬ事である。抗圧力に対しては Al-Sn-Cu 系合金は相當大きいけれども熱処理効果その他による亀裂には特に注意しなければならないものである。硬質の軽合金は裏金中で運轉後緩みを生ずる程熱膨脹の差により圧力を受けると云ふ難点がある。この時の温度の上昇を考へるならば次式によつて示されるものである。

$$\Delta t = \frac{c}{\alpha E_B} \left(1 + \frac{T_A}{T_B} \cdot \frac{E_A}{E_B} \right) \dots \dots \dots (1)$$

c : 抗圧力

α : 熱膨脹差

E_B : 裏金の弾性率

E_A : 合金の弾性率

T_B : 裏金の肉厚

T_A : 合金の肉厚

上記の様な難点があるため裏金を用ひず、鋼或は鋳鉄裏金の部分を全部代用材とすれば應力、歪、熱應力の点から次の様な事を参考として考へねばならぬものと思ふ。

$$\eta = \frac{f'^2 \times V}{2 \times E} \dots \dots \dots (2)$$

η : 変形に要するエネルギー

f' : 弾性限度下における應力

V : 体積

E : ヤング係数

即ち各材料が受けてゐる應力が同一なる場合変形に要するエネルギーの比は、

$$\frac{\eta_{Al}}{\eta_s} = \frac{E_s}{E_{Al}} \cdot \frac{V_{Al}}{V_s} \doteq 3 \times 1.5 = 4.5 \text{ (Al 合金)}$$

$$\frac{\eta_{Mg}}{\eta_s} = \frac{E_s}{E_{Mg}} \cdot \frac{V_{Mg}}{V_s} \doteq 5 \times 2 = 10 \text{ (Mg 合金)}$$

同一のエネルギーの荷重を受けた時各材質の受ける應力比は

$$\frac{f_{Al}}{f_s} = \sqrt{\frac{E_{Al}}{E_s} \cdot \frac{V_s}{V_{Al}}} \doteq \sqrt{\frac{1}{3 \times 1.5}} = \frac{1}{2.2} \text{ (Al 合金)}$$

$$\frac{f_{Mg}}{f_s} = \sqrt{\frac{E_{Mg}}{E_s} \cdot \frac{V_s}{V_{Mg}}} \doteq \sqrt{\frac{1}{5 \times 2}} = \frac{1}{3.2} \text{ (Mg 合金)}$$

次に熱の効率を考へた時熱傳導の良い事は利点であるが熱膨脹係数の大なる事は欠点と考へられる。熱應力を比較してみると

$$\text{熱應力 } f = (t_2 - t_1) \alpha \cdot E \dots \dots \dots (3)$$

α : 線膨脹係数

$t_2 - t_1$: 温度差

$$\alpha_{Al} \doteq 23 \times 10^{-6}$$

$$\alpha_{Mg} \doteq 26 \times 10^{-6}$$

$$\alpha_s \doteq 13 \times 10^{-6}$$

$$\alpha_{c.I} \doteq 11 \times 10^{-6}$$

$$\frac{f_{Al}}{f_s} = \frac{(\alpha_{Al} \cdot E_{Al})}{(\alpha_s \cdot E_s)} \doteq \frac{23 \times 1}{13 \times 3} = 0.59$$

[昭和 19 年 2 月]

$$\frac{f_{Mg}}{f_s} = \frac{(a_{Mg} \cdot E_{Mg})}{(a_s \cdot E_s)} = \frac{26 \times 1}{13 \times 5} = 0.40$$

$$\frac{f_{Al}}{f_{c.I}} = \frac{(a_{Al} \cdot E_{Al})}{(a_{c.I} \cdot E_{c.I})} = \frac{23 \times 1}{11 \times 1.45} = 1.44$$

$$\frac{f_{Mg}}{f_{c.I}} = \frac{(a_{Mg} \cdot E_{Mg})}{(a_{c.I} \cdot E_{c.I})} = \frac{26 \times 0.6}{11 \times 1.45} = 0.98$$

温度差の代りに熱伝導率 C を考へるならば、 C は逆比例と考へられるから、次式の如く考へられる。

$$f = \frac{a \cdot E}{C} \dots\dots\dots (4)$$

$$\frac{f_{Al}}{f_s} = \frac{a_{Al} \cdot E_{Al} \cdot C_s}{a_s \cdot E_s \cdot C_{Al}} = \frac{23 \times 1 \times 0.12}{13 \times 3 \times 0.35} = 0.2$$

$$\frac{f_{Mg}}{f_s} = \frac{a_{Mg} \cdot E_{Mg} \cdot C_s}{a_s \cdot E_s \cdot C_{Mg}} = \frac{26 \times 1 \times 0.12}{13 \times 5 \times 0.32} = 0.15$$

$$\frac{f_{Al}}{f_{c.I}} = \frac{a_{Al} \cdot E_{Al} \cdot C_{c.I}}{a_{c.I} \cdot E_{c.I} \cdot C_{Al}} = \frac{23 \times 1 \times 0.11}{11 \times 1.45 \times 0.35} = 0.45$$

$$\frac{f_{Mg}}{f_{c.I}} = \frac{a_{Mg} \cdot E_{Mg} \cdot C_{c.I}}{a_{c.I} \cdot E_{c.I} \cdot C_{Mg}} = \frac{26 \times 0.6 \times 0.11}{11 \times 1.45 \times 0.32} = 0.33$$

但し、これ等の式は簡単のために極めて概略の値をとつたものである。應力を受けてゐる円筒の一部を切り開くと Hatfield, Thirkell の次式により應力の計算をなす事が出来る。

$$f = \frac{E \cdot T \cdot \Delta D}{D_1 \cdot D_2} \dots\dots\dots (5)$$

f : 應力

T : 肉厚

D_1 : 切り開く前の直径 mm

D_2 : 切開後の直径 mm

併し切開せず途中迄例へば鋳の一部に機械加工をなした場合如何なる影響を受けるかと云ふ事に対しては銅合金に就き名古屋工場に於て計測した結果がある。それは第 3 図及び 4 図の如くであり、類似のものにも同様な考慮がなされねばならぬものと思ふ。円筒型銅合金は應力により亀裂を生ずる事は良く経験する事であるが、軽合金でも Zn の入つたもの、Cu の入つたもの等熱処理効果の大なるものや、抗圧力の比較的

第 3 図

第 10 卷 第 38 号 (第 4 部)]

第 4 図

低いものは亀裂に対する注意が特に考慮されねばならないと思ふ。

5. 軸受合金に対する硬度並に組織の調査及び加工性等

(a) 硬度調査 第 5 図の如く数箇所をブリネル硬度計で測定した結果遠心鑄造によると巣の傾向はないが硬度の不均一は防止出来ず、次の如き結果を示した (第 3 表)。

(b) 熱処理後の硬度

510°C-3h 焼入による硬度の変化を調査せる処第 4 表の様な結果を得た (第 4 表中 H, O, R は夫々第 3 表 X, Y, Z に相當するものとす)。

第 5 図

第 3 表

材質記号	測定箇所	1	2	3	4	5	6
A_1	$\left\{ \begin{array}{l} X \\ Y \\ Z \end{array} \right.$	60.5	64.6	69.1	82.6	58.6	60.5
		58.6	62.5	60.5	60.5	58.6	64.6
		60.5	66.8	66.8	66.8	60.5	62.5
A_2	$\left\{ \begin{array}{l} X \\ Y \\ Z \end{array} \right.$	58.6	55.1	56.8	64.6	69.1	66.8
		50.3	60.5	66.8	69.1	64.6	66.8
		58.6	58.6	69.1	69.1	58.6	69.1
B_1	$\left\{ \begin{array}{l} X \\ Y \\ Z \end{array} \right.$	30.5	33.6	29.8	38.1	33.6	33.6
		29.8	32.8	29.8	35.3	29.8	32.8
		33.6	33.6	29.8	33.6	32.8	33.6
B_2	$\left\{ \begin{array}{l} X \\ Y \\ Z \end{array} \right.$	33.6	35.3	36.2	38.1	32.8	37.1
		33.6	33.6	37.1	35.3	32.8	36.2
		34.4	33.6	33.6	38.1	33.6	38.1
C_1	$\left\{ \begin{array}{l} X \\ Y \\ Z \end{array} \right.$	69.1	74.1	69.1	69.8	69.1	66.8
		74.1	69.1	69.1	68.8	62.6	69.1
		69.1	71.5	74.1	50.3	56.8	71.5
C_2	$\left\{ \begin{array}{l} X \\ Y \\ Z \end{array} \right.$	56.8	58.6	58.6	66.8	66.8	62.5
		58.6	60.5	58.6	64.6	62.5	69.1
		58.6	60.5	69.1	69.1	69.1	66.8

第 4 表

材質記号	測定箇所	1	2	3	4	5	6
A_1	H	76.8	76.8	79.6	71.5	69.1	79.6
	O	71.5	76.8	69.1	74.1	69.1	74.1
	R	76.8	76.8	79.6	69.1	71.5	71.5
A_2	H	85.7	92.6	89.0	89.0	85.7	82.6
	O	85.7	92.6	82.6	76.8	85.7	89.0
	R	82.6	85.7	85.7	82.6	85.7	82.6
B_1	H	38.1	43.6	39.1	42.4	40.2	42.4
	O	37.1	42.4	41.3	42.4	40.2	42.4
	R	39.1	41.3	41.3	42.4	38.1	41.3
B_2	H	35.3	41.3	40.2	43.6	40.2	41.3
	O	39.1	41.3	40.2	43.6	40.2	41.3
	R	37.1	40.2	38.2	42.4	38.1	39.1
C_1	H	109	96.3	100	90.0	74.1	100
	O	100	109	100	85.7	85.7	92.6
	R	100	82.6	100	74.5	69.1	92.6
C_2	H	96.3	96.3	96.3	100	96.3	96.3
	O	96.3	100	100	100	92.6	100
	R	96.3	92.6	96.3	100	100	96.3

第 6 図

第 7 図

6. 加工性調査

更にこれ等の Al 軸受合金を機械加工して見ると普通の Al 合金と異なり、加工性稍不良特に内側の荒削りの時はバイトの損傷が甚だしい。加工条件に依ては毛割れの如きビリを生ずる事がある。以上の如く一般軽合金に比較した場合加工性が劣るが特に加工性の問題で困る様な心配はない。第 6 図及び第 7 図は機械加工後のアルミニウム軸受の一例を示す。

(c) 外観的欠陥の傾向

金型予熱温度等の関係から第 8 図の如く“嫌ひ”等のために外周に斑点を生ずるため十分注意が必要である。金型内側に塗型を行つて見たがそれ程効果なく、寧ろ温度等の影響が大である。第 8 図の“1”はその不良例を示し“4”となるとこの欠陥がなくなつてゐる。同様第 9 図の右側 4 箇は不良例を示し、左側 4 箇は良品例を示したものである。但しこの様な不良なものも外径の取代を増加すれば削り去る事も出来るが不経済な事である。又特殊な現象として比較的大きなものは第 10 図の如く外周に廣く 2 列の帯状として、普通のものは第 11 図の如く B の附近に 1 列帯状に荒い部分が外面的に現はれる。これは後述する如く組織的考察と併せ考へると、冷却速度の遅いため、偏心等のためより中央が不純物多く、結晶粒も粗なる事より説明がつく。即ちこれ迄の一般的な

第 8 図

第 9 図

[昭和 19 年 2 月]

考へ方である両端を切捨て中央を活かすと云つた常識的な考へは一寸危険な事及び実験の様な早い回転数でも半径方向の差は余りない等、軽合金の遠心鑄造は重合金とは相當趣を異にする事を見出したのである。且注入温度も重合金のそれに比べ低いので急冷度も異なる事等より軽合金の遠心鑄造に際し

第 10 図

第 11 図

第 12 図

ては凝固範囲の関係よりその過程現象からの偏析を考慮し中央部の冷却を特に注意せねばならぬ事を確認した。

(d) 組織的調査 第 12 図は材質記号 A の遠心鑄造組織 (倍率=100) を示したもので、A, B, C は夫々端部、中央部、端部の顕微鏡組織を示す。これによつて考察すると中央部は冷却が遅く凝固過程に不純物 (微量高温添加物) が結晶したために粗なる欠陥を示したものである事が明瞭である。第 13 図は材質記号 B の合金の組織を示したもので同様中央部に粗なる傾向が現はれてゐる。第 14 図は材質記号 C の合金に就て、あり同様同じ傾向が現はれてゐる事を示すものである。第 15 図は第 14 図と同様なものの少し内側に入つた処の粒子並に結晶状況の比較でこの場合一層中央部の偏析傾向が大なる事が示されてゐる事に注意しなければならない。

(e) 砂型鑄造 この様な肉厚のものを砂型で鑄造する場合“引ケ”等による欠陥を防止するため周囲に冷し金を配して鑄造した (型は乾燥鑄型)。配合成分は次の如くである。

Sn 10%, Cu 2%, Ti 1%, Mn 0.5, Fe 0.5%, Al 残

製品は機関カム軸ブッシュで円型でないボルト座を有する角型の鋳を有するもので、ビッカース測定結果は次の第 16 図の如くである。

第 17 図は第 16 図の一部を採取 100 倍の組織を示したものである。

(f) 金型鑄造 第 18 図は材質記号 A 即ち Sn 4%, Cu 4%, Ti 0.5%, Mn 1.5%, Si 0.6%, Al 残からなる合金の金型鑄造組織を示したものである。ブリネル硬度は鑄放の儘は 58~69 で熱処理すると 69~93 となる。引張強さは 16 kg/mm², 伸は 2.5% 程度で抗圧力は 91~96 kg/mm², 圧縮率は 50~55 程度を示した。第 19 図は材質記号 B 即ち Sn 13%, Cu 1.0%, Ti 0.5%, Mn 0.7%, Si 0.6%, Al 残からなる合金の金型組織で鑄放の儘ではブリネル硬度 30~38, 熱処理後は 37~44 でそれ程の影響を受けない。

引張強さ 13 kg/mm^2 , 伸 17% , 抗圧力 $84 \sim 112 \text{ kg/mm}^2$, 圧縮率 70 程度の相当良好なる機械的性質を持つてゐるため比較的圧力の高いものに迄利用出来るものと考へられる。第 20 図は材質記号 C 即ち Sn 10% , Cu 1% , Ti 1% , Ni 0.5% からなる合金の金型組織で鑄放の儘の硬度は $50 \sim 69$, 熱処理後硬度 $74 \sim 114$ 程度で引張強さは 16 kg/mm^2 , 伸は 1% , 抗圧力は $42 \sim 52 \text{ kg/mm}^2$, 圧縮率は $24 \sim 42\%$ と云ふ比較的低い値を示した。実際使用しそれ程顕著に欠陥は現はれないが、間隙が大になると振動等による圧力も増す事より抗圧力大なる事が出来るだけ望ましい事である。第 21 図は材質記号 D 即ち Sn 10% , Cu 1% , Mn 0.5% の金型組織で硬度

は C の場合より低く約 35 程度で、抗圧力は相當高く 119 kg/mm^2 , 圧縮率 73% と云ふ値を示し相當良好なものである。

7. 試運転結果に対する考察

クラシク軸の硬度がショアで約 75 を示してゐる 60 HP , 1500 rev/mn 機関に対し代用前はビッカース約 24 のケルメットを使用してゐたが代用後はビッカース 56 程度の Sn 10% , Cu 1% , Ti 1% と云つた Al-Sn-Cu 系合金で間隙は直径約 85 mm に対し 0.07 mm で何等焼付を生じなかつた。併しこの系の合金の熱膨脹係数は Al-Si 等に比較して相當大きく約 24×10^{-6} 程度であるため直径が大きい高速度ター

第 13 図

第 14 図

第 15 図

〔昭和 19 年 2 月〕

ゼル機関等になると、例へば直径 90 mm 等となると間隙 0.1 mm でも尙足らず、焼付を生じ次に間隙を少し増し 0.14~0.15 程度とすると焼付が防止出来た。併し振動の点を考へると間隙の大きい事は好ましい事ではない、この様な点に尙研究問題が残されてゐるが大體に於て軽合金軸受がケルメットに代つて利用出来る事となり、又代用せねばならなくなつた今日本報告に発表した様な冷却に対する特別の注意を拂ひ偏析のない様なものを造る事が大切なりと考へる。即ち折角優秀な軸受性を持つ合金でもその製造上に欠陥があれば試運転結果に悪影響を與へる事に注意せねばならぬものと考へる。

第 16 図

8. 結 論

代用軸受合金の製造に當り遠心鑄造法に於てこれ逆行はれて来た高温重合金に就て考へられた事と異つた注意が必要な事を顕微鏡組織的に究明し、その偏析現象が凝固過程における現象に起因する事を結論し得た。故に冷却や偏心等に就ては特に注意を拂はねばならぬものと考へる次第である。

(昭和 18 年 10 月 18 日受付)

第 17 図

第 18 図

第 19 図

第 20 図

第 21 図