

航空發動機軸受に関する研究

武 内 武 夫

A Study of Antifriction metal bearing for Aers-Engine. By T. Takeuchi. (Part I.) The author's research aims at the practical methods of melting, pouring, and cooling of Babbitt type bearing material. The summary is given as follows:

1. Melting of Babbitt metal (Sn-Sb-Cu alloy) must be carried on at 430 degrees C. in order to have a complete inter metallic compound of Sn and Cu.
2. Cooling speed during freezing is most important; Cooling after becoming solid has no effect on physical quality.
3. Effect of heat treatment is nil.
4. Slow solidification from moltenstate causes the material to be weak because of size, arrangement, and shape of grains.

(Part II.)

A special device was used in testing adherence of the Shell and Babbitt metal. As the "tinning" material tin was found to be the best, and there is a best length of time of immersion which gives the best adhering quality. A comparative study was made of the effect of various finish on the Contact surface of the shell upon adhering quality, and the best finishing method was found. Various carbon steel, cast iron, and brass were tried, and as the result of it low carbon steel was found to be most satisfactory as the material of shell.

緒 言

我々の航空機用發動機に於ては其の廻轉速度大なると所謂ベアリングプレシユア-大なるとの爲め軸受は最も困難なる問題の一つとされてゐる。殊に航空界の發達は長時の連續運轉を要求しつゝある今日軸受の不完全なるため其の繼續時間を制限せらるゝこと誠に遺憾である。由來軸受の問題に就ては多くの研究が試みられてゐるが多くは單なるアンチフリクション合金そのものに對するものである様に思ふ。然し惟ふに假令優秀なる合金を用ひても其の施工が適當でなかつたならば充分なる結果を發揮させることは不可能であらう。斯る見地から著者は特に施工的方面に着眼して研究を進めてゐるが略々基礎的研究の一斑を終つたので此處にその結果を論述したいと思ふ。

材 料

現今用ひらるゝ軸受合金に銅を基礎とするもの並びにアルミニウム、マグネシウム、亞鉛、鉛乃至錫を主成分とする合金がある。然うして所謂高級の軸受には専ら錫を主成分とするものが用ひられ發

明者の名に依つてバビットメタルと呼ばれてゐる。此合金は又其中に含まる、錫の多寡に依り錫約 8% を限界として硬質と軟質とに區別されるが航空發動機に用ひらるゝものは殆んど軟質バビットメタルに屬してゐる。著者の供用した材料も亦軟質バビットメタルの一つで特に軸受合金中最も優秀なものと推奨されてゐるホキット No. 11 合金である。化學分析の結果銅 3.5%, 錫 3.5%, 残り錫なる成績を得た。

(研究其の一) 合金の性質

I 鑄造溫度に就いて

現在各所に於ける軸受製作の實情を見るに其の鑄造溫度は區々にして一定してゐないが凡そ 350°C を越ゆるものを見受けない。然うして其の溫度が適當であるや否や未だ研究されてゐないらしい。依つて適當なる鑄造溫度を決定する目的で次の實驗を行つた。

(1) 試料及試験片製作 上記バビットメタルを黒鉛坩堝に熔し鑄込みより少し以前に湯を攪拌して銹を除去し、鑄造溫度に達したならば出来る丈湯を靜かにして金型に鑄込み徑 50m.m. 高さ 55~60 m.m. の圓壙を作つた。鑄型の豫熱には眞鍮管を爐心とした抵抗電氣爐を用ひたので各部の溫度全く一樣にすることが出来た。湯並びに鑄型の溫度は夫々白金：白金ロヂウム電氣とニクローム：コンスタンタン熱電偶を用ひて測定した。

次に圓壙の下部より厚さ 15m.m. の圓板 2 枚を切り取り相接したる面に就いて試験を行つた。

(2) 試験方法 異つた種類の軸受合金の良否を比較することは極めて困難な問題で未だ簡単な試験方法はないのであるが、同一材料に就ては比較的簡單である。バビットメタルの軸受としての作用を考ふるに喩えば綿の中に小石を撒布した様に柔軟にして且つ彈性に富む地金中に磨耗に耐える硬い金屬化合物を一様に象嵌したものである。それで著者は顯微鏡検査と衝擊硬度試験を行つた。硬度試験には彈性的硬度と柔性的硬度とを見るため本多、佐藤氏考案の振子式衝擊試験器を用ひ尙ほ溫度の影響を見る目的で室温より 200°C の範圍に於いて測定した。試験溫度に 10 分間保つて試験片が全體一樣の溫度になる様にし試験片の取付には常に注意を怠らなかつた。溫度測定にはニクローム：コンスタンタン熱電偶を用ひ試験片に小孔を穿ち熱接點を挿入して行つた。

跳ね返り高さは之を自働的に指示する裝置を工夫して測定するやうにした。然し高溫度に於ては跳ね返り高さ小さく測定に困難を感じた。

跳ね返り高さは彈性的硬度を示し窪みは柔性的硬度を示し共に軸受合金の性質に重要なものであるが跳ね返りを大にして読み易くすれば勢い振子の初高を増し窪痕を過大ならしむる缺點があるのでその中庸を取つて振子の初高を 100m.m. として實驗を行つた。窪痕の直徑測定に際して橢圓形の窪痕を與えたものは其の平均を採つた。

(3) 實驗結果 合金の融點より 50°C おきに 280°C より 480°C の範圍に鑄造溫度を變へて實驗し

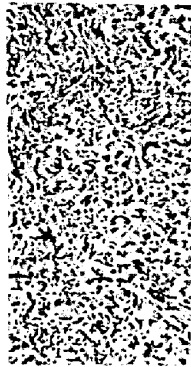
た結果は第一表及第二表の如く温度に依る硬度の減少は殆んど直線的であつて異状を認めない。第一圖は其の顯微鏡組織を示す。次に第二圖 A, B は試験温度 50°C に於ける鑄造温度と合金の硬度との關係を描いたダイヤグラムである。鑄型温度と無關係に鑄造温度の高くなると共に硬度は初め多少増加するが再び減少して 380°C 附近に於て最小となる然し 430°C に於ては急激に増加して最大を示し其以上では又急激に減少する。顯微鏡組織に於ても第一圖に示される如く 430°C から鑄込んだものは其の上下のものとは異つてゐる。

第一表 窪痕直径 (耗) 室温 20~26°C

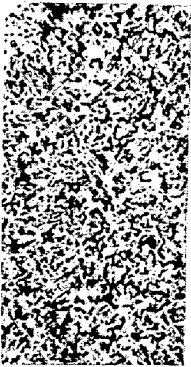
試片番號	鑄温	型度	鑄温	込度	室温	試 験 温 度 °C					加熱後 室温	再加熱 50
						50	90	130	170	200		
MM	1,2	室 温	280	352	357	377	390	405	413	352	362	
MN	1,2	"	330	350	355	364	386	399	417	348	363	
MO	1,2	"	380	344	354	370	387	412	419	350	363	
MP	1,2	"	430	340	351	366	384	401	414	350	356	
MQ	1,2	"	480	342	352	369	385	398	411	345	355	
MB	3,4	100	280	354	368	379	388	417	428	351	360	
MC	3,4	"	330	354	265	380	390	415	427	358	361	
MD	3,4	"	380	354	366	377	390	410	420	352	364	
ME	3,4	"	430	348	360	375	392	412	430	351	359	
MF	3,4	"	480	357	363	383	395	417	433	362	370	
MH	1,2	200	280	355	377	389	408	426	429	354	368	
MI	1,2	"	330	356	365	386	398	410	432	358	364	
MJ	1,2	"	380	356	367	382	398	408	421	356	360	
MK	1,2	"	430	345	355	374	389	409	429	350	358	
ML	1,2	"	480	357	370	386	398	414	420	358	372	
MR	1,2	300	280	354	364	378	393	403	423	358	371	
MS	1,2	"	330	350	360	376	393	409	428	353	361	
MT	1,2	"	380	365	377	392	406	423	439	367	376	
MU	1,2	"	430	350	367	379	398	419	429	350	367	
MV	1,2	"	480	359	368	379	391	410	424	358	368	

第二表 跳上り高さ (耗) 室温 20~26°C

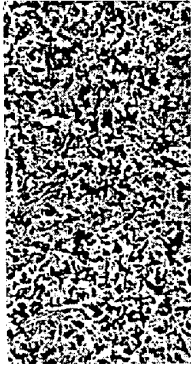
試片番號	鑄温	型度	鑄温	込度	室温	試 験 温 度 °C					加熱後 室温	再加熱 50
						50	90	130	170	200		
MM	1,2	室 温	280	43	300	245	205	145	115	355	300	



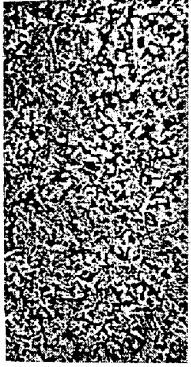
MM 1 鑄型溫度 室 289°C 鑄造溫度 約 x 28



MN 1 鑄型溫度 室 333° 鑄造溫度 約 x 28



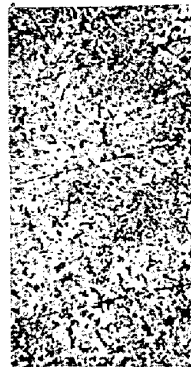
MO 1 鑄型溫度 室 382° 鑄造溫度 約 x 28



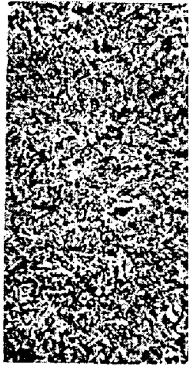
MP 1 鑄型溫度 室 432° 鑄造溫度 約 x 28



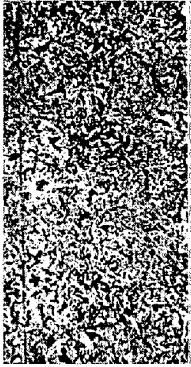
MQ 1 鑄型溫度 室 483° 鑄造溫度 約 x 28



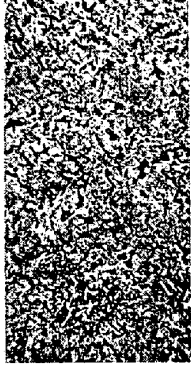
MB 3 鑄型溫度 100°C 鑄造溫度 280° 約 x 28



MC 3 鑄型溫度 100° 鑄造溫度 331° 約 x 28



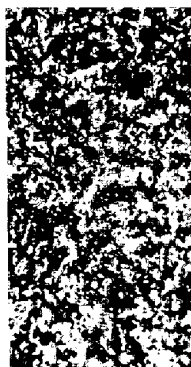
MD 3 鑄型溫度 100° 鑄造溫度 380° 約 x 28



ME 3 鑄型溫度 100° 鑄造溫度 429° 約 x 28



MF 3 鑄型溫度 100° 鑄造溫度 480° 約 x 28



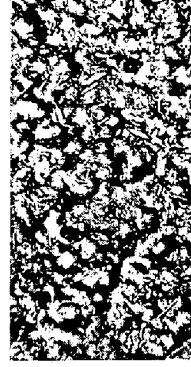
MH 1 鑄型溫度 200°C 鑄造溫度 279° 約 x 28



MI 1 鑄型溫度 200° 鑄造溫度 321° 約 x 28



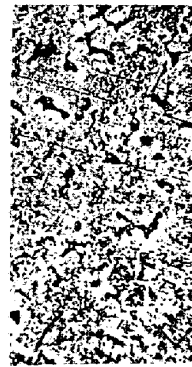
MJ 1 鑄型溫度 200° 鑄造溫度 380° 約 x 28



MK 1 鑄型溫度 200° 鑄造溫度 432° 約 x 28



ML 1 鑄型溫度 200° 鑄造溫度 481° 約 x 28



MR 1 鑄型溫度 300°C 鑄造溫度 281° 約 x 28



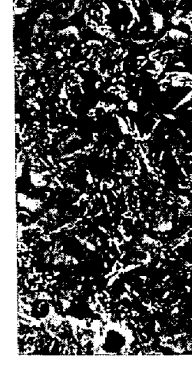
MS 1 鑄型溫度 300° 鑄造溫度 380° 約 x 28



MT 1 鑄型溫度 300° 鑄造溫度 380° 約 x 28



MU 1 鑄型溫度 300° 鑄造溫度 430° 約 x 28

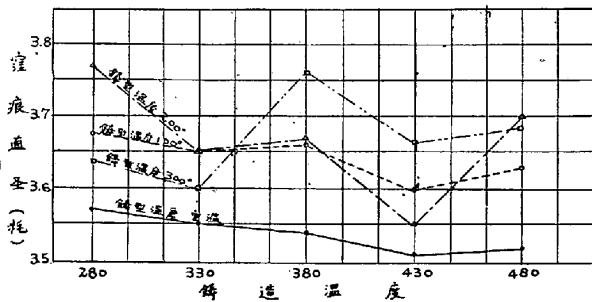


MV 1 鑄型溫度 300° 鑄造溫度 481° 約 x 28

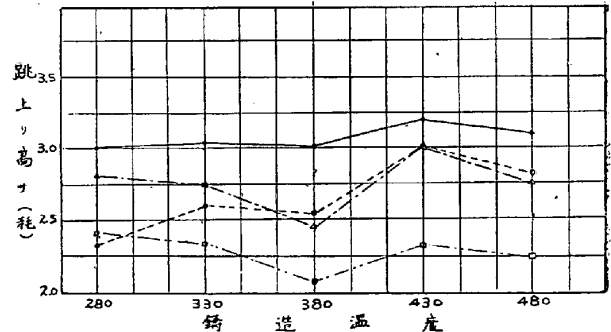
腐蝕液 2% 鹽化鐵水溶液
但 LMI, MII, MJ1 は 3% 硝酸アルコール溶液

MN	1,2	室温	330	4.25	3.05	2.50	1.90	1.40	0.95	3.00	2.85
MO	1,2	"	380	4.00	3.00	2.45	2.00	1.45	1.15	3.55	2.80
MP	1,2	"	430	4.00	3.20	2.50	2.00	1.60	1.15	3.75	3.00
MQ	1,2	"	480	3.90	3.10	2.40	1.90	1.55	1.10	4.00	2.65
MB	3,4	100	280	2.85	2.35	1.80	1.50	1.15	0.85	2.85	2.45
MC	3,4	"	330	3.20	2.60	2.20	1.70	1.30	0.95	3.10	2.50
MD	3,4	"	380	3.05	2.55	2.15	1.65	1.35	0.95	3.00	2.55
ME	3,4	"	430	3.35	3.00	2.40	2.00	1.40	1.00	3.35	3.50
MF	3,4	"	480	3.25	2.80	2.40	1.75	1.45	1.00	2.90	2.50
MH	1,2	200	280	3.40	2.80	2.25	1.65	1.15	0.85	3.30	2.30
MI	1,2	"	330	3.25	2.75	2.10	1.60	1.25	0.80	3.00	2.30
MJ	1,2	"	380	3.50	2.45	2.00	1.15	1.00	0.90	2.75	2.40
MK	1,2	"	430	3.50	3.00	2.10	1.85	1.45	1.00	3.25	2.80
ML	1,2	"	480	3.65	2.75	2.45	1.95	1.45	0.90	3.00	2.95
MR	1,2	300	280	3.10	2.40	1.95	1.50	1.35	1.10	2.90	2.05
MS	1,2	"	330	2.90	2.35	1.85	1.55	1.20	1.05	2.85	2.25
MT	1,2	"	380	2.50	2.10	1.80	1.55	1.20	1.00	2.30	2.15
MU	1,2	"	430	2.90	2.35	1.90	1.45	1.30	1.05	3.00	2.40
MV	1,2	"	480	3.45	2.25	1.80	1.55	1.15	0.90	2.90	2.10

第二圖A 鑄造温度と硬度との関係 (50度/時)

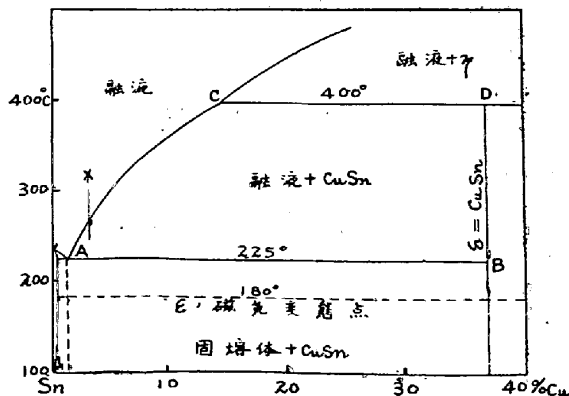


第二圖B 鑄造温度と硬度との関係 (50度/時)



(4) 結論 鑄造温度と共に或温度迄硬度を増し其を越えると減少することは一般金属に共通であるが 430°C に再び最高点を示す事實は一見不思議に思はれる、今其の所以を考察するに本合金は Sn

錫-銅合金平衡状態図



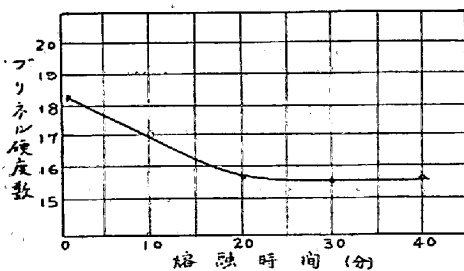
Cu の初晶及 Sn Cu と錫-銻-銅固溶體との共融晶とから成つてゐるが銻は7%迄錫に固溶體として溶解度を有するので單なる錫-銅合金と見て差支ない、故に錫-銅合金平衡状態圖を以つて論ずれば略々×印の位置を以つて示すことが出来る、此の成分の合金を加熱して A-B 線に相當する温度に達すると共融晶の部分が全部熔融する此以上温度が昇ると共に D-B にて表はされる化合物 Sn Cu が少し

づつ溶けて A-C 線に達した時完全に溶け終るのである、融態に於て Sn Cu が如何なる状態に在るか未だ知られてゐないが其の包晶反應溫度が 400°C であることから推して化合物の分子状態に於て存在し 400°C に達して始めて原子状態に分解するものと著者は考へた、従つて其以下の溫度にて鑄造する時は Sn Cu 分子或は分子群を核として速に結晶成長し組織を粗くして硬度を減少するものと考へられる。顯微鏡組織に於ても 380°C 以下のものに於ては Sn Cu の結晶割合に太く短く 430°C 以上のものは細く針状を呈し角ばつてゐる。尙此考の正否を確むる爲めに 280°C に 0~40 分間保持して見たが第三表及第三圖に示す如く何等改良せられないのみでなく寧ろ硬度は減少する傾向を示した、顯微鏡組織に於ても何等變化を見なかつた。

第三表 熔解時間とブリネル硬度 (球徑 10m.m. 荷重 100kg, 15 秒)

試片 番 號	溶 解 時間(分)	ブリネル 硬 度 數				平均	總平均	摘 要
		1	2	3	4			
HK 1	1	18.4	18.5	18.8	18.8	18.7	18.4	
" 2	"	18.5	18.4	18.8	18.2	18.5		
" 3	"	17.4	18.5	18.2	18.2	18.1		
HH 1	10	16.6	18.1	17.3	17.1	17.3	17.0	
" 2	"	16.9	17.1	16.6	16.5	16.9		
" 3	"	17.0	16.5	16.9	17.1	17.0		
HI 1	20	16.5	16.0	16.5	15.9	16.3	15.7 × 印荷重 18 秒	
" 2	"	15.9 ×	15.9	15.4	15.5	15.6		
" 3	"	15.8	15.2	14.1	15.7	15.2		
HJ 1	30	15.8	15.9	15.9	15.6	15.8	15.6	
" 2	"	15.4	15.8	15.7	15.2	15.6		
" 3	"	15.7	15.4	15.4	15.6	15.6		
HL 1	40	16.2	15.9	16.0	16.2	16.0	15.7	
" 2	"	15.8	14.8	15.9	15.6	15.6		
" 3	"	15.7	15.9	15.8	15.7	15.5		

第三圖



以上の事實からしてバビットメタルの鑄造は 430°C 附近に於て行はねばならぬと言ふ結論に達する。本論文起稿中に發表せられた R. T. Rolfe⁽¹⁾ の此方面に於ける研究結果も 425°C に硬度の最高點を示し著者と同様な結果を得てゐる。氏の供用した材料は錫 85% 銻 8.5% 銅 6.5% なる所謂硬質バビットメタルと呼ばれるものであるが化合物

Sn Cu を含む點に於ては變りないから著者の考よりすれば當然の結果である。

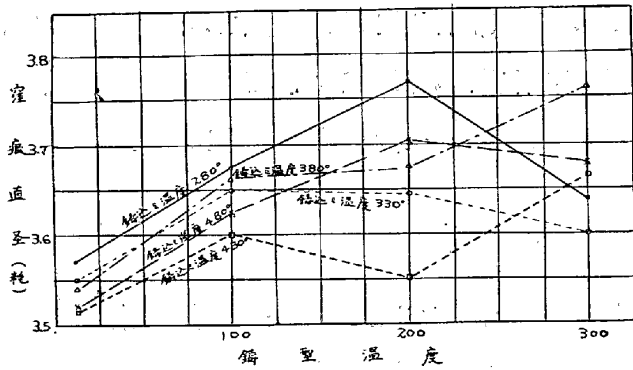
(1) R. T. Rolfe; Metal Ind. May 7 (1926)

II 鑄型温度に就いて

鑄型温度は冷却速度に重大なる影響を及ぼすもので殊に鑄鐵型に比して合金の比熱は約半分である

から其の影響は一層大きい筈である、それで鑄型温度を室温乃至300°Cに變る尙ほその影響を鑄込から凝固終了迄凝固後室温迄とに分つて試験した。即ち鑄込から凝固終了迄の時間を豫め冷却曲線を探つて決定し置き其に做つて試料が凝固し終つたならば直ちに鑄型より取り出して空中冷却を行ひ凝固後の影響を除いた、斯くして得た試料に就て前節と同様

第四圖 A 鑄型温度と硬度との關係 (50度・時)

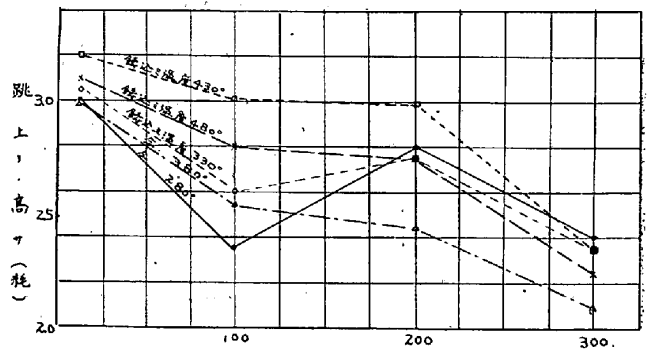


の實驗を行つたが其結果は第一表及第二表の如くで第四圖 A, B は試験温度 50°C に於ける硬度と鑄型温度との關係を描いたダイヤグラムである。又第一圖は顯微鏡組織の變化を示す。

凝固後の冷却速度の影響を見る爲めに 430°C から 200°C の鑄型に徑 30m.m. 長さ 90m.m. の丸棒を鑄込み凝固後鑄型の中で其儘冷却し

或は直ちに型より取り出して空中冷却及水中冷却を行ひ、それ等から厚さ 15m.m. の圓塊 4 個を切り取りて試験片を作り各々 4ヶ所に於て硬度を測定した。其結果第四表の如く殆んど變化がなかつたので豫備實驗のみで打ち切ることにした。

第四圖 B 鑄型温度と硬度との關係 (50度・時)



第四表 凝固後の冷却速度とブリネル硬度 (球徑 10m.m. 荷重 100kg 15秒)

試片番	冷却速度	ブリネル硬度數				平均	總平均、摘要
		1	2	3	4		
HC 1	空中放冷	16.3	15.8	15.9	16.0	16.2	16.0 室温 30°C
" 2		16.3	15.9	15.8	16.6	16.2	
" 3		15.1	15.9	15.9	15.4	15.7	
" 4		15.5	16.4	15.4	15.3	15.8	
HD 1	水中冷却	16.6	16.8	16.6	17.0	16.8	16.6 水温 24.5°C
" 2		17.1	16.5	16.9	15.9	16.6	
" 3		16.3	16.5	16.5	16.4	16.4	
" 4		17.1	17.1	16.8	16.5	16.9	

HE 1	鑄型の儘	16.0	16.5	15.1	16.2	16.0	} 15.7
2	空中冷却	15.9	15.8	15.4	15.9	15.7	
3		15.4	15.2	15.9	—	15.6	

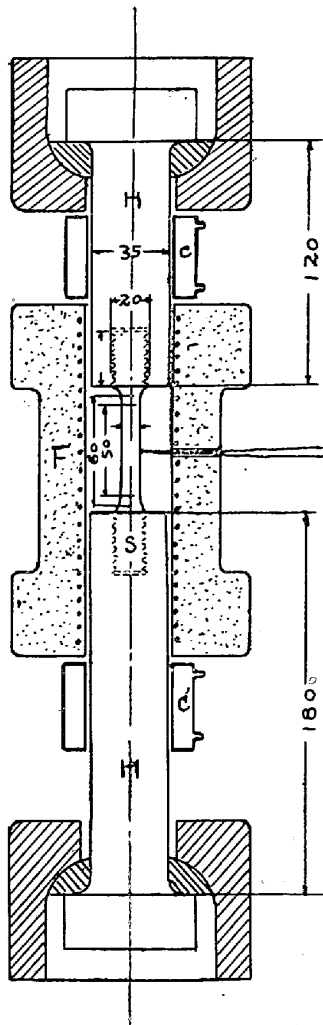
結果の考察及結論 本合金は殆んど大部分共融晶より成つてゐるので凝固温度範囲極めて狭く凝固點以下に變態も存在しないので合金の組織は凝固し終る迄の冷却速度に依つて決せられる筈である。次に合金の硬度は鑄型温度を高くすると共に 100°C 迄は急激に減少するけれども其以上は稍緩である。又顯微鏡組織も此事實を裏書してゐる。此に依つてバビットメタル鑄込の場合に鑄型温度の餘り高いのは望ましくないことが分る。

III 合金の脆性と冷却速度

航空發動機の軸受に於てはバビットメタルに龜裂剝脱を生ずることが屢々あつて軸受製作上大きな困難の一つとされてゐる。其の原因として凡そ4つを數へることが出来る。即ち

1. 裏金との附着の良くないこと
2. 裏金が弱いこと
3. 合金が脆弱なる組織になつてゐること
4. 作動温度が合金の脆性温度範囲に在ること

第五圖



初めの2項は恐らく最も大きな原因と考えられるので一つの主題として目下尙研究中に在つて、今此處に述べんとするのは後の2項に關する研究結果である。一般に脆弱なる合金は單に龜裂を生じ易いのみならず磨耗し易く摩擦抵抗も大きいものであるから軸受合金に於て脆性を試験することは極めて重要であると考えたので鑄造に於ける冷却速度が合金の脆性と如何なる關係に在るか又作動温度が合金の脆性温度に相當するのではないかを確むる目的で次の實驗を行つた。

(1) 實驗方法 金屬及合金の脆性を試験するには普通抗張試験、壓縮試験及び衝擊試験等が行はれるが此場合衝擊試験は軸受到作用する力を考へ合せても當を得たものでない、第二の方法は最も適切である様に思はれるが不幸にも此種合金の脆性は壓縮試験に於ては明に表はれないのである、それで著者は抗張試験を試みることにした。即ち徑20m.m. 長さ 170m.m. の丸棒を金型に鑄込み其頭部は切り除つて第五圖に示す寸法の試験片を作り之を保持桿 H に取付け 10 噸アムスラー試験機を容量 2 噸に調整して室温及 100°C に於て試験を行つた。100°C に於て試験する際には眞鍮管を爐心とする抵抗電氣爐を以つて加熱し尙ほ cc' なる流水冷却装置を附した、加熱中に熱が保持桿以外の装置に逸出するに依つて起る實驗誤差を避けるためである。

(2) 結果及結論 實驗より得た數字は第五表に示す如くである。破

斷後の試験片の状態を見るに室温及 100°C の鑄型に鑄造したる試験片即ち冷却速度大なるものに於ては延伸状態恰も燒鈍せる眞鍮の如く一般延伸著しくして柔性に富むことを表はしてゐる。200°C の鑄型に鑄たものは數個の大結晶より成る試験片を引張つた時に起る所謂 Block Movement が表はれ一般延伸なく延伸率も減少し數個の滑走面に龜裂を見た。鑄型温度 300°C のものに於ては断面收縮殆んどなく破面には Sn-Cu の結晶一面に現はれ試験棒全面に渡つて輪狀に龜裂を生じ數字上に表はれた延伸率は柔性變形のみでなく龜裂に依つて出來た空隙が可なり含まれてゐると思はれる。

100°C に於いて行つた試験の結果は室温の場合と其傾向全く等しく寧ろ柔性を増した傾向がある。緩冷した合金が脆弱である理由を考ふるに一般に融點低き金屬は冷却方向に細長き結晶が發達するものであつて結晶長軸に直角に引張つた際には非常に脆いものである。パピットメタルは錫を主成分とするので銅を加えて其傾向を妨げてゐるが緩な凝固の際にはやはり此傾向が現はれるらしく思はれる。抗張試験片鑄造の際冷却方向は軸に直角であるから周圍より中心に向つて求心的に細長い結晶が發達する此結晶の配列状態が脆性の原因をなすものと考へられる。實際の軸受の場合にも結晶は裏金の面に垂直に内方に向つて並ぶ傾向があるので若しも斯る状態になつた時には龜裂を生じ易いわけである。此事實は前記硬度試験に於て冷却速度緩なる試験片の場合窪痕が直徑方向に長い楕圓形を呈したことに依つても推察される。次に 100°C に於ける試験と室温に於けるものとの結果を比較して見る

第五表 抗張試験成績 室温 23~28°C

試片番號	鑄型温度	試験温度	抗張力 kg/mm ²	延伸率 %	延伸状態	破面状態	摘要		
TA	室温	室温	6.24	23	一般延伸				
TD			5.71	35				著し	
TC		100°C	4.38	40	同上				
TB			3.60	32					
TH	100°C	室温	4.56	30	一般延伸				
TE			6.26	26	稍著し				
TG		100°C	5.25	33	同上				
TF			4.19	29					
TK	200°C	室温	4.37	19	一般延伸				
TI			5.41	15	少し				
TL		100°C	3.10	23	同上				
TJ			3.10	19					
TP	300°C	室温	4.58	14	断面收縮	結晶狀 試片徑 11.6m.m.			
TN			5.43	8	なし			同上	
TO		100°C	3.09	12	同上、局部			同上	破断面に酸化物を見る
TM			3.46	19	起伸ニケ所			同上	標點附近にて破斷

注意 鑄造温度 430°C 試験片寸度 徑 13.7m.m.

標點距離 m.m. 平行部長 60m.m.

断面收縮率は破斷部の断面楕圓形ありレンズ形ありて不規則なる爲め測定せず

とバビットメタルには作動温度附近に於て特に脆性を現はす如き性質はないことが分る。以上の結果から見てバビットメタルは鑄込の際相當冷却速度を大きくした時に柔性に富むものであると言はねばならぬ。

IV 熱處理の影響

錫、鉛合金の或ものは此を高温度に熱して水中に急冷する時硬度を増加すると言はれてゐる。我々のバビットメタルに就ては未だ這般の消息が明にされてゐないので著者は試みにその影響を追究して見た。試料は 200°C の鑄型に 430°C の湯を鑄込み徑 20m.m. 長さ約 150m.m. の丸棒を鑄造して此から厚さ 20m.m. の圓塊を切り取り 2 個所に就いて豫め硬度を測定し置きそれを焼入温度に 15 分間保つて水中に焼入し冷却後同様 2 個所に於て硬度を測定したが其結果は第六表に示す如く焼入の影響は認められない。惟ふに錫、鉛合金が焼入に依つて硬化するとすればそれは平衡状態圖に於いて觀る如く β 固液體の α 固溶體に對する溶解度が温度の下降と共に減少する事實以外には其原因と考えられる變化は存在しない。若し此が硬化の原因であるとするならば著者の供用した如き鉛 7% 以下の合金に於ては焼入硬化しないのが當然である。又第二節の衝撃硬度試験に於て 200°C に加熱した試験片を冷却し室温及び。

第六表 焼入の影響

試片番號	熱處理	ブリネル硬度數					
		熱處理前			熱處理後		
		1	2	平均	3	4	平均
HF 1	157°C水中焼入	15.2	15.4	15.3	15.7	15.4	15.6
" 2	175°C "	14.8	14.8	14.8	15.6	15.6	15.6
" 3	195°C "	14.5	14.9	14.7	15.1	14.8	15.0
" 4	209°C "	15.4	15.0	15.2	16.5	15.6	16.0
" 5	234°C "	15.1	14.6	14.8	16.3	15.4	15.9

50°C に於ける硬度を測定したが結果は第一表並びに第二表に示す如くたゞ室温鑄型に鑄造した試験片の跳ね返り高さが多少減少してゐる外殆んど變化なく焼鈍の影響は略々無いものと考えられる。即ち一旦凝固したバビットメタルは最早如何なる熱處理を施しても其性質を變えることは出来ないものである。

V 總括

以上の實驗結果を總括すると次の如し。

1. バビットメタルの熔解は一旦 430°C に加熱するを要する、化合物 Sn Cu の構成に由因するらしい。
2. 凝固中の冷却速度は大なる必要がある。
3. 凝固後の冷却速度は影響を認めない。
4. 焼入又は焼鈍するも殆んど影響を認めない。

5. 緩に凝固した合金は脆弱であるこれは結晶粒の大きさ、形並びに配置状態に基く。

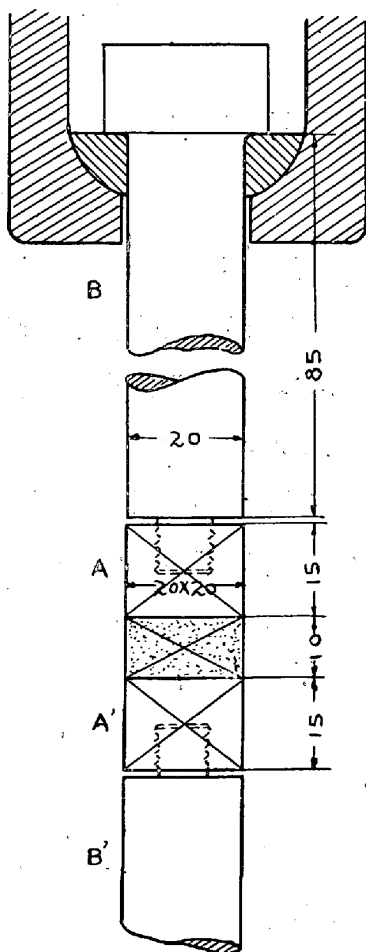
(研究其の二) 合金裏金との附着に就いて

航空發動機に用ふるバビツトメタル軸受はバビツトメタルを鋼、青銅、眞鍮等の堅固なる裏金の内面に鑄込んだものであるが使用中屢々バビツトメタルが裏金から剝離し當事者の最も苦痛とする所である。さて此等の融點高き裏金金属に対して直接バビツトメタルを熔着せしめることは困難であつて實際には先づ融點低き金属又は合金を鍍金し其の上にバビツトメタルを熔着せしめるのである。従つて合金と裏金との附着力が鍍金操作の優劣に依つて影響されることは言ふ迄もないことである。

それに關はらず今日迄鍍金作業に就いて少しも追究されなかつたことは寧ろ不思議と言はねばならぬ。

著者は我國及び英獨佛に於て製作せられた軸受に就いて裏金とバビツトメタルを無理に剝して検査した處裏金の内面に鍍金々屬が擴散した形跡が少しも無いものを屢々發見して驚かされた。著者は愈々鍍金操作の重要なるを感じ特に附着程度を比較する一つの試験法を考究し此方面の追究を試みた、以下述べるところは其の實驗結果である。

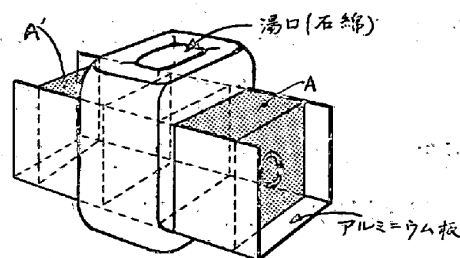
第一圖



I 實驗方法

裏金の材質を以つて作った 20 耗角 (第一圖 A, A') 厚さ 15 耗の六面體の一面にネヂ孔を穿ち其の反對の平面に金属又は合金を鍍金し、其の 2 個を 10 耗の間隔を置き、鍍金面を向ひ合せてアルミニウム板框に取付け第二圖の如く石綿にて湯口を附し、之を豫め一定温度に熱してある電氣爐に裝入し約 30 分にして試験片が一定温度に達して後尙ほ約 20 分其の温度に保ち、爐より取出し別に熔しておいた 430°C⁽¹⁾ のバビツトメタルを直ちに鑄込み冷却後湯口を切り取り試験片を作つた。此試験片を第一圖 B B' にて示せる鋼製保持桿にネヂ込み之をアムスラー抗張試験機に取付けて抗張試験を行ひ其の破斷力と破面とを觀察した。

第二圖



一班の研究に於て裏金材質として軟炭素鋼（炭素 0.35%）を使用した。實際に最も廣く用ひられてゐる裏金用材である。又鍍金操作中アイオンゾルダールと呼ばれる液體の媒溶劑を用ひた。

II 鍍金々屬の撰擇

先づ錫、半田、錫の上に半田、バビットメタル、亞鉛に就いて豫備實驗を試みた。容易に市場に得られる金屬の中融點低きものを選んだ譯である。即ち錫 280~300°C 半田 240~260°C、亞鉛 450~460°C バビットメタル 420~430°C に熔し鍍金作業を行つた。其方法は鍍金々屬が試験面を完全に被覆して後尙ほ 2 分間融液中に保つた。之を 150°C に豫熱してバビットメタルを鑄込み試験片を作つた。比較試験の結果亞鉛及びバビットメタルは鍍金作業困難にして表面に酸化物を生じ易く美しい鍍金が出来ない従つて鑄込んだバビットメタルとの熔着も不完全であつた。錫、錫の上に半田、及び半田は可能性がある様に思はれる。第一表は抗張試験の結果であるが表中附着面積とあるは裏金面を 1 耗角に 400 等分し完全に附着した面積を平方耗にて表はしたのものである。

第 一 表

試片番號	鍍金金屬	附着面積 mm ²	抗張力 實 際 kg	附着力 kg/mm ²	摘 要
2 A. B	錫	358	2,050	5.30	亞鉛とバビットの間 附着し難し。
4 A. B	半田 (Sn70.Pb30)	400	2,590	6.58	
6 A. B	バビット	295	1,330	4.62	
8 A. B	亞 鉛	—	,670	—	
10 A. B	錫と半田	400	2,600	6.71	

次に錫、錫の上に半田、及び半田に就いて比較して見た。今度は鍍金々屬の融點より僅に低溫度に裏金を豫熱して行つた。其結果は第二表の如く錫及び錫の上に半田を鍍金したものは結果良好であつたが半田のみのものは鍍金々屬とバビットの熔着が非常に不良であつたので半田のみに就いて其の融點より約 10°C 高く豫熱して鑄込んだ處第二表の下二列に示す如く附着良好になつた。

以上の事實よりして錫及び半田を用ひたものは總べて附着強固であることが分る。蓋し鍍金と云ふも熔融金屬の裏金に對する擴散に依るものであるから溶解度を有し且つ擴散度大にして強力なる合金を作るものが適當なわけである。鉛は鐵に對して溶解度を有しないので半田が附着力を持つてゐるのは其が多量の錫を含有せるに依るものである、以上の他豫熱中に於ける酸化の速度又バツトメタルの軸受としての性質に及ぼす鉛の影響をも考慮すれば錫が最も優れたものである。

III 鍍金融液中に保つべき時間

前にも述べた様にバビットメタルと鍍金々屬との熔着は殆んど常に完全であつて抗張試験に依つて破斷した裏金の面を觀察すると鍍金々屬が少しも裏金と合金してゐない場合が非常に多い、其等の事

第 二 表

試片番號	鍍金々屬	裏金溫度 °C	附着面積 mm ²	實際抗張力 kg	附着力 kg/mm ²	摘 要
1B-2A	錫	200	400	2,660	6.76	
3B-4A	"	"	395	1,840	4.73	
5B-12	半 田	"	380	2,140	5.72	
7B-8B	"	160	—	270	—	
9B-10B	錫と半田	"	400	2,390	6.08	
11A-11B	"	"	396	2,110	5.42	
5B-11B	半 田	184	399	2,410	6.14	
1B-3B	"	184	345	1,740	5.10	

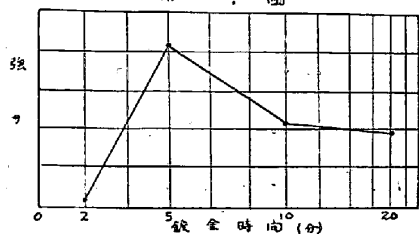
情は破斷した裏金面の状態色澤等に依つて容易に判斷することが出来る。著者は 260~280°C の錫融液中に裏金を 2~20 分間保持して鍍金を行ひ鍍金々屬が裏金々屬中に擴散するに最も適當な時間を決定せんと企てた。試験後破斷面を觀察するに 2 分間浸漬せしものは灰黑色にして鍍金前と其状態全く相等しく 5 分間浸漬せしものは白色を帯び破面は平滑ならず裏金と鍍金々屬とが合金したことが明に認められる、10 分以上のものに於ても其以上變化は見なかつた。

附着力は第三表及び第三圖に見る如く 5 分に於て最大であつて以後浸漬時間を増すと却つて弱くなる。

第三表 鍍金時間の影響 (裏金の溫度 200°C)

試片番號	時 間	附着面積 mm ²	抗張力 (實際)kg	附着力 (kg/mm ²)	摘 要
5B-6B	2 分	325	1,790	5.1	
1B-13B	5 "	400	2,780	7.01	
9B-13A	10 "	285	1,690	6.1	
14 - 8B	20 "	400	2,350	5.96	

第 三 圖



此れは鐵中に擴散した錫の含有量が餘りに高くなつた爲めに脆弱なる合金を作るに至つたものと考へられる。以上の事實よりして次の結論に達する、即ち鍍金操作に於ては單に錫が裏金に附着したのみでは無意味であつて相當時間浸漬する必要がある、尙ほ其の浸漬時間には限度があるか

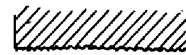
ら最も適當な時間を撰び常に勵行せねばならぬ。鐵に錫を鍍金する場合には 5 分間位が適當である。

IV 裏金内面の仕上方法

實際に用ひられてゐる軸受到就いて裏金内面の仕上方法を見るに種々雜多であるが大體に於て我國のものは外國のものに比し細い仕上になつてゐる様に思ふ。一般に二つの物質を附着せしめる際に其の附着面の状態は極めて重要である。著者は附着力に及ぼす仕上方法の影響を知り引いては最も適當

なる仕上方法を決定する目的で次の5種の仕上に就いて比較を試みた。

- | | | | | |
|----|----------|---|----------|------|
| 1. | シューパー仕上 | 粗 | 10mm. に付 | 8 山 |
| 2. | " " | 中 | " | 12 山 |
| 3. | " " | 細 | " | 20 山 |
| 4. | グラインダー仕上 | | | |
| 5. | スクレーパー仕上 | | | |



鍍金操作は前節の結果に鑑みて 260°C~280°C の錫融液中に於て試験片の面が完全に錫にて覆はれて後尚 5 分間浸漬して行つた。

實驗の結果に依ると附着力は仕上方法に依つて異り丁寧なる仕上必ずしも良結果を與えず又餘り粗い溝をつけることも良くない。第四表に示す所に依れば 10mm に付き 12 山程度の溝をつけたものが最も優れてゐる。惟ふに溝を附する時は附着面積を増し従つて附着力を大にするものであらふ、然し

第 四 表

試片番號	仕 上	附着面積 mm ²	抗 張 力 實 際 kg	附 着 力 kg/mm ²	摘 要
16 A. B	スクレーパー	386	2,550	6.71	裏 金 豫 熱 溫 度 200°C
15 A. B	グラインダー	399	2,640	6.71	
17 A. B	細 溝	400	2,630	6.68	
18 A. B	中 溝	400	2,930	7.45	
19 A. B	粗 溝	400	2,660	6.76	

あまりに溝を細密にする時は表面に生ずる酸化物等の爲めに却つて附着力を減少し結局中仕上程度の溝をつけた場合に附着力最大となるものと思はれる。

尙ほ裏金内面に溝をつけることは附着力を増すのみならず軸受の壓縮に對する抗力を増し且つバビットメタルの龜裂剝脱を少くするものと考へるので著者は其方面の研究を企てゝゐる。

V 裏金材質の撰擇

裏金の材質に依る附着力の變化を知る目的の爲めに先づ極軟鋼、半硬鋼、硬鋼、鑄鐵、眞鍮に就いて比較を試みた。

鍍金に際して鋼に於ては炭素量の多寡に關はらず一様に容易に作業することが出来たが鑄鐵に於ては黒鉛の部分は全く鍍金されず緋の如くにしかならなかつた眞鍮は鍍金の如きもの多く生じて美しき面に鍍金することが出来なかつた。

附着力試験の結果は第四表の如くにして鋼が最も強く又炭素量は出来るだけ低いものが附着完全にして極軟鋼に於ては4個の試験片共バビットメタルの中間にて破斷した。炭素量の異つた鋼に於て抗張力が殆んど皆相等しいのを見ると軟鋼、硬鋼に於てもバビットメタルの抗張力と同一程度の附着力を得られることが認められる。此問題に就いて著者は尙ほ研究を進める豫定である。

第五表

試片番號	材 質	附着面積 mm ²	抗 張 力 實 際 kg	附 着 力 kg/mm ²	摘 要
L 1,2	極軟鋼 0.12%C	400	2,580	>6.56	バビットの中間にて切斷
" 3,4	" "	"	2,550	>6.49	"
" 5,6	" "	"	2,550	>6.49	"
" 7,8	" "	"	2,530	>6.42	"
M 1,2	半硬鋼 0.35%C	400	2,740	6.96	
" 3,4	" "	"	2,650	6.76	
" 5,6	" "	"	2,360	6.0	
" 7,8	" "	"	2,490	6.32	
H 1,4	硬 鋼 0.8 %C	392	2,310	6.01	
" 2,3	" "	400	2,550	6.48	
C 1,2	鑄 鐵	400	1,750	4.95	黒鉛部は附着せず
" 3,4	"	"	150	—	"
" 5,6	"	"	1,550	3.94	"
" 7,8	"	"	1,280	3.25	"
B 1,2	眞 鍮	316	1,660	5.34	附着不良
" 3,4	"	400	2,120	5.38	"
" 5,6	"	358	1,820	5.16	"

VI 概 括

以上の實驗結果を總括すると次の如し。

1. 鍍金材料としては錫が最も適當である。
2. 錫鍍金の際融液中に裏金を浸漬する時間を色々に變化して最も適當なる時間を見出した。
3. 附着が最大なる裏金内面の工作方法を決定した。
4. 裏金材料として炭素鋼、鑄鐵及眞鍮に就いて比較したが低炭素鋼が附着力最大である。
5. 本實驗中採用した附着試驗法は著者の考案したものであるが簡單にして適切である。

終りに著者は本研究中終始督勵に與り又此度發表を許可せられたる中島飛行機製作所長中島知久平同副所長中島喜代一氏に對し又熱心に實驗を援助せられたる美野普君に對して深く感謝したいと思