

## ケルメットの軸受性能について\*

佐藤忠雄\*\* 齋藤稔男\*\* 大山一男\*\*

Tadao Satô, Toshio Saitô and Kazuo Ôyama: On the Bearing Performance of Cu-Pb alloys (Kelmet). The material and the bearing performance of Cu-Pb alloys (Kelmet) were studied and the following results have been obtained. For Diesel engines mounted on motor cars, Kelmet of Copper dendritic structure has been often used. In the present experiment, the alloys of lead granular structure were tested. The former is generally hard with B. H. N. 35~40,

\*\* 鉄道技術研究所

\* 1955年10月本会金沢大会に発表

while the latter is soft with B. H. N. 28~32.8. Casting and lining operation of these alloys were comparatively easy, and large bearing were manufactured without great difficulty in casting. In this experiment Kelmet showed adequate ability of lubrication, antifriction and endurance under the present practice of lubrication as half-bearing used on the axle boxes of cars. So, Cu-Pb alloy may be substituted for white metal (WJ 6,7,8 and 9) from the standpoint of saving tin consumption and on account of its excellent endurance.

(Received November 26, 1956)

I. 結 言

著者等は先きに Pb-Sb-Sn 系以外の Pb 系合金の軸受性能について報告したが、車輛軸受は耐摩耗性および潤滑状態の良さに外に急激な振動並びに衝撃により、かなり苛酷な影響を受けることが多い。高荷重を受ける軸受が、その耐久性を確保するためには、Pb 系合金程度の機械的強度では不十分なものとする。またそこで著者等は、現在主として航空機および内燃機関の軸受として一般に用いられ、大型の車輛軸受としては殆んど使用されていないまた白金属中の Sn の節約にも役立つと考えられるケルメットを半軸受として従来のパッド給油法により使用する場合にはどの程度車輛軸受として耐え得るかについて白金属と比較して実験を行った。その結果、かなり実用性を有することが明らかとなつたので、その実験結果について報告する。

II. 供試試料の鑄込方法及び金属組織

本実験に使用したケルメットの化学成分は、Table 1 の

Table 1 Chemical composition and hardness of samples.

Kind of samples	Element (%)						Brinell hardness number
	Pb	Sn	Cu	Ni	Residuals		
No. 1	29.40	0.80	69.20	--	--	28~31	
No. 2	28.50	1.20	69.50	1.20	0.60	32~32.8	
KJ 3	28~32	<1	bal	Ni or Ag <2	<1	<40	

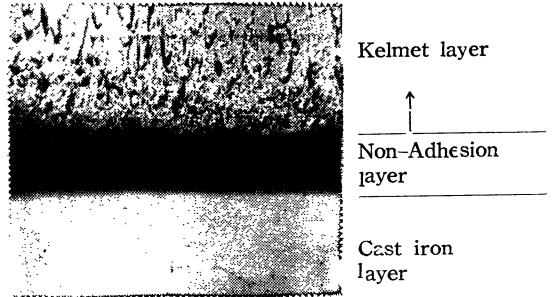
通りである。試料 No. 1 は Sn 量が少くまた Ni を含まない合金である。試料 No. 2 は Sn 量が多く Ni を約 1% 含む合金である。試料 No. 2 は No. 1 より硬くまたその数値は比較的均一である。KJ 3 (JIS 規格ケルメット鑄物第 3 種) と比較して、試料 No. 1 はその成分は規格通りであるが、硬さは低くまた試料 No. 2 は Sn が含まれるが矢張り硬さは低い。供試 2 種類のケルメットについて、車輛用現寸大の半軸受を砂型により置つき法にて裏張り或いは一体として鑄込みを行った。その鑄込み条件は Table 2

Table 2 Lining condition.

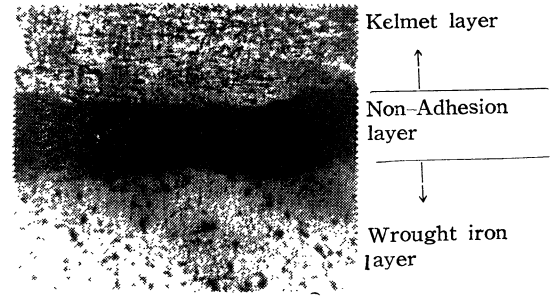
Kind of samples	Lining condition	Melting temperature (°C)	Casting temperature (°C)	Pre-heating temperature of back metals (°C)
No. 1		1200	1160	50
No. 2		1250	1200	50

の通りである。軸受性能実験のための供試半軸受は、試料 No. 1 を用いて一体の軸受にしたものおよび裏金を鑄鉄または鍛鋼にしたもの並びに試料 No. 2 の裏金を青銅鑄物 (JIS 青銅鑄物規格第 2 種) にしたものである。鑄込みの際のケルメットの肉厚は、仕上げ時の軸受の肉厚の約 3~5 倍程度とし、これを削成して軸受当り面に仕上げた。

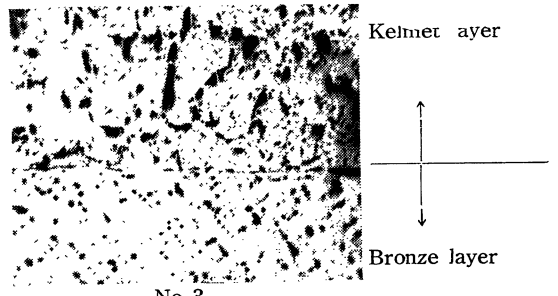
砂型鑄込みによるケルメットと裏金との接着部分並びにケルメット内部の顕微鏡組織を Photo. 1 に示す。ケルメットの組織は Pb が均一な粒状組織を呈し、裏金との接着部分には裏金を鑄鉄および鍛鋼とした場合にはケルメットとの接着が殆んど不可能である。裏金を青銅としたものは



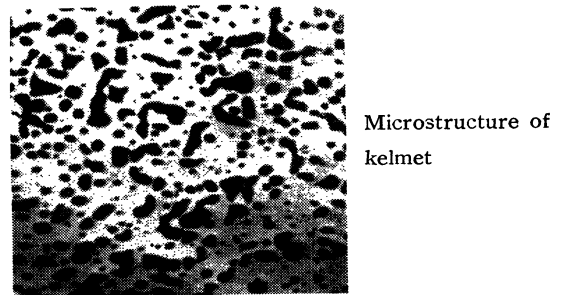
No. 1



No. 2



No. 3



No. 4

Photo. No. 1 No. 2 No. 3 No. 4  
Poto. 1 Microstructure (×50)

ケルメットとの接着性が極めて良好で境界部分が殆んど判らない。铸铁または鍛鋼を裏金とした場合には、接着部分が Photo. 1 の如く不良のため裏金にケルメットを機械的に保持させて、境界部分の接着層が剝離しても機械的にケルメットが裏金に嵌合、密着されるように工夫した。

III. 機械的性質

常温の耐圧力について、ケルメットと白メタルとを比較すると Fig. 1 に示す通りである。供試試料の大きさは

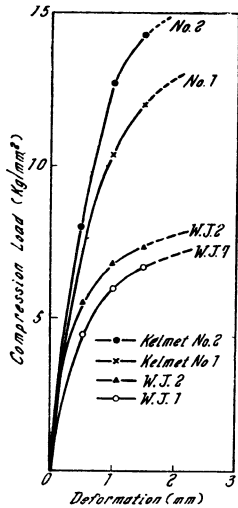


Fig. 1 Compression load-deformation curves for samples.

10φ×20mm で実験には 5t アムスラー万能試験機を用いた。白メタル WJ 2 および WJ 7 (JIS 2 規格ホワイトメタル第 2 種および第 7 種) はいずれも 10 kg/mm<sup>2</sup> 以下で破壊するが、ケルメットは試料 No. 1 および No. 2 いずれも 10 kg/mm<sup>2</sup> にて 0.7 および 0.9 mm 程度の変形を生ずるが、まだ外見上の破壊を生ぜず耐圧性は白メタルと比較して良好な結果であり、特に No. 2 は高い耐圧性を示した。また Table 3 に示すように、試料 No. 2 は No. 1 よりも引張り強さおよび衝撃値がやゝ高目である。しかし

Table 3 Mechanical property.

Mechanical property Kind of samples	Tensile strength (kg/mm <sup>2</sup> )	Elongation (%)	Impact value (kg-m/cm <sup>2</sup> )
No. 1	11.0	10.0	1.12
No. 2	13.0	10.0	1.36
WJ 2	9.0	10.0	0.85
WJ 7	7.5	12.0	0.75

ケルメットはいずれも WJ 2 および WJ 7 と較べて引張り強さの値が大きく、特に衝撃値が高い。以上の機械的性質に認められた供試ケルメットの耐圧力および衝撃抗力の良好な点を考慮して、裏金無しの一体ケルメット軸受についてもその性能を調べた。

IV. 軸受性能

Fig. 2 はリーレ軸受性能試験機により (1)(2)(3)、軸と軸受との摺合せを行つた際の摩擦状況を示す。廻転数は 250

rpm、荷重は無負荷（軸受自重のみ）で、車輛用鉱物性潤滑油を用い、パッド圧力約 25 kg のパッド給油法によつて

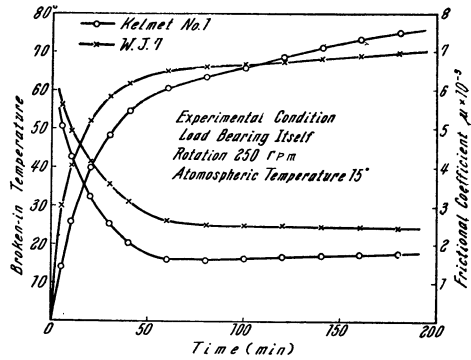


Fig. 2 Temperature-time and frictional coefficient-time curves for bearing by Liélé bearing testing machine, when bearing and axle are broken in under sliding contact with each other for the first time sample WJ 7 and Kelmet No. 1.

時間の経過による摩擦係数と軸受温度の変化を調べた。ケルメットは試料 No. 1 を用い、白メタル (WJ 7) と比較した。白メタルは比較的短時間に軸受温度が上昇して飽和するが、ケルメットは温度上昇の速さが遅い。しかし約 180 min 後の最高温度は、ケルメットの方が白メタルよりも約 5° 高い。これは旋盤仕上げ (約 1/1000 mm の粗さ) 程度の軸受面のなじみ性はケルメットよりも白メタルの方が良好であることを示すものである。この温度上昇に伴つて潤滑油の粘度が低下する。従つてケルメットの場合は、白メタルよりも時間と共に摩擦係数の低下が著しい。また供試試料は軸との当りが良好である。

なお、試料 No. 1 は、廻転開始約 60 min 後に摩擦係数が最低となり約  $1.60 \times 10^{-3}$ 、その際軸受温度は約 60° に達し、白メタルの  $2.60 \times 10^{-3}$ 、約 65° と比較するといずれも低い数値であるが、約 180 min 後にはケルメットの摩擦係数はわずかに上昇し約  $1.75 \times 10^{-3}$  となる。すなわち潤滑油の粘度低下のため摩擦係数は低いが、その接触面は境界潤滑に入り金属接触を起し始めて、軸受温度の上昇が白メタルより高くなつていゝものと思われる。廻転始めは白メタルよりも軸受温度が低いことはケルメットの熱伝導度が大なるためと考えられるが、約 1 hr 後に境界摩擦に入つて摩擦熱が著しく増加し、ケルメットは白メタルよりもその軸受温度が高目になるものと思われる。すなわち油膜潤滑状態ではケルメットの方が白メタルよりも摩擦熱をよく伝導することが明瞭である。次に廻転数と荷重とを変えて約 200 min 経過後における摩擦係数並びに軸受温度を測定すると Fig. 3 の通りである。

いずれも廻転数が増すにつれて摩擦係数が増し、2~3t の低荷重域ではその影響が小さいが、4~5t の高荷重域では著しい。摩擦係数におよぼす影響は、この範囲では廻転数よりも荷重の方が大である。現用のパッド給油方法では廻転数 500 rpm (車輛の速度に換算すると約 80 km/hr

(1) 佐藤, 齋藤, 日本機械学会誌, 58(1955), 73.  
 (2) 佐藤, 齋藤, 鉄道業務研究資料, 8(1951), 17.  
 (3) 佐藤, 齋藤, 本誌, 21(1957), No. 5.

になる) 荷重5t において殆んど境界が認められ、この時ケルメットの温度は約85° となり、白メタルの温度は約

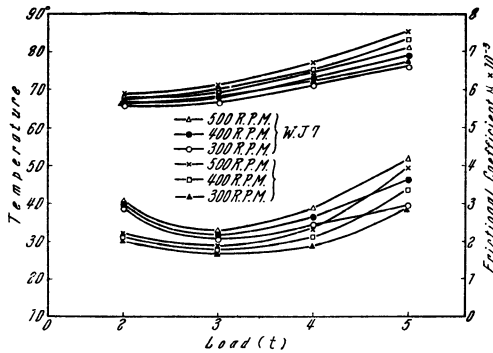


Fig. 3 Temperature-load and frictional coefficient-load curves for bearing. WJ 7 and Kelmet No. 1  
Experimental condition.  
Load 2,3,4 and 5 t.  
Rotation 300,400 and 500 rpm.  
Atmospheric temperature 15°.  
Time 200 min.

81° となる。この温度差に伴って摩擦係数はケルメットが  $3.9 \times 10^{-3}$ 、白メタルは  $4.2 \times 10^{-3}$  を示している。

次に  $\mu$ -Zn/P 曲線により、その潤滑状態の安定性を示すと Fig. 4 の通りである。著者等がさきに行つた実験<sup>(3)</sup>におい

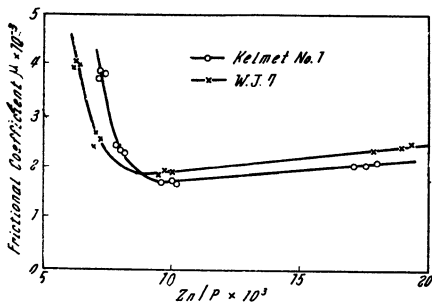


Fig. 4  $\mu$ -Zn/P curves  
Sample WJ 7 and Kelmet No. 1  
Experimental condition.  
Load 2,3,4 and 5t. Rotation 300, 400 and 500 rpm.  
Atmospheric temperature 15°.  
Time 200 min.

ては軸受荷重 3t、軸の廻転数 300~500 rpm Zn/P が  $10 \times 10^{-3}$  において  $\mu$  の最低値が現われた。本実験においても同様

に廻転数 300~500 rpm にて荷重 3t 附近にケルメットの摩擦係数の最低値が現われ、その値は  $1.75 \times 10^{-3}$  である。従つて軸受荷重 3t 以下にては  $\mu = C(Zn/P)$  により油膜潤滑域にあり、また 3t 以上において境界摩擦域に入る。この場合廻転数が、300 rpm より増加しても、その影響が軽微なことは前述の通りである。なお Fig. 4 から油膜潤滑域において、ケルメットの摩擦係数が白メタルより低いが、これは油膜の厚さが薄く比較的金属接触を伴い易いためと考えられる。またケルメットの硬さは高いため、摩擦による metal flow を生ずることが少く、従つて滑動面の自己矯正作用により  $\mu$  が最低値まで戻り得ないが、一方白メタルは metal flow を起し易いため  $\mu$  が高

くなつて焼付傾向を示しても摩擦熱による合金の軟化で滑動面が自己矯正作用により安定し、最低の  $\mu$  に戻り得ることが考えられる。従つて試料 No. 2 の如き硬い合金はある程度以上の荷重には半軸受の潤滑作用ではその摩擦に耐え得ないものと思われる。またケルメットは荷重 4~5t、廻転数 500 rpm で、長時間廻転の場合にはやゝ潤滑状態が不安定となるが焼付きおよび欠損を惹起するほどには至っていない。以上のリーレ軸受性能試験機の実験結果により、ケルメットは荷重の高いところでは金属接触を起すが、その熱伝導度および耐久性がすぐれているので実際に焼付きを起してははかないことが判つた。そこで次に試料 No. 1 による鍛鋼、鋳鉄合金の軸受および試料 No. 2 による砲金合金の軸受を車輛に取付けて現車による軸受性能を試験して、Fig. 5 に示す結果を得た。本実験は軸受の当

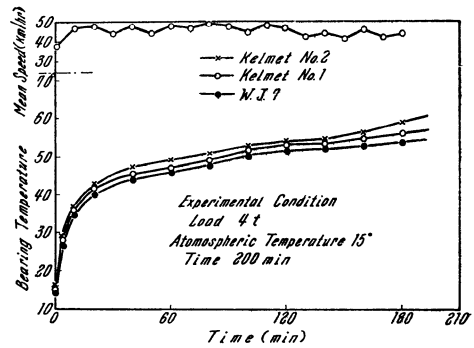
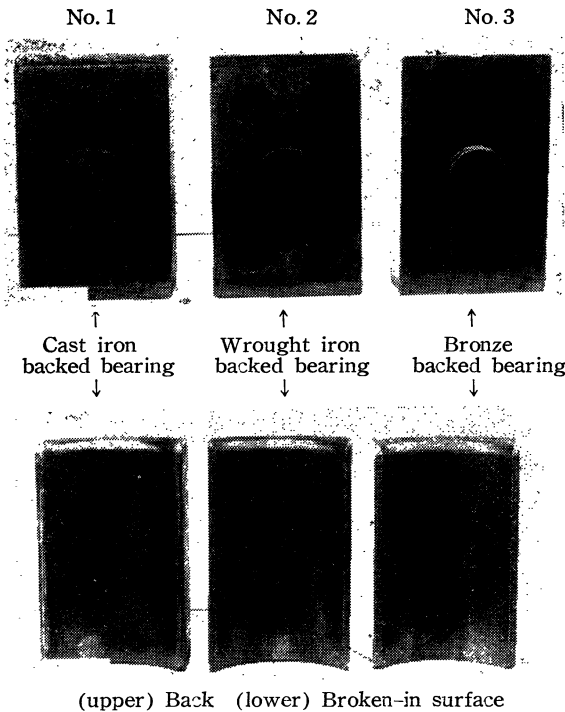


Fig. 5 Car speed-time and bearing temperature-time curves (The experiment on actual passenger car)  
Sample Kelmet No. 1, No. 2 and WJ 7.

り面を手仕上げにて均一に 40 mm 巾に作製し、軸受荷重約 3t にて約 140 km を約 180 min にわたり走行させて、その際速度および軸受温度の変化を白メタルと比較して測定した結果である。本実験では約 60 min 後にケルメットおよび白メタルいずれも軸受温度が安定し、さらに 180 min 後にて試料 No. 1 は約 56°、試料 No. 2 は 58°、白メタルは 53° となつた。また速度変化および振動、衝撃による発熱も殆んど認められず、30~50 km/hr の範囲の速度ではパッド給油により潤滑が可能であることを示している。しかしケルメットは白メタルよりも発熱量が多い。これはケルメットが白メタルよりも metal flow を起し難いためであり、またリーレ軸受性能試験機による実験における  $\mu$ -Zn/P 曲線に認められる  $\mu$  の最低値附近の境界摩擦に近い状況がこの実用実験の潤滑状態と考えられ、従つて烈しい振動および衝撃を受ける場合、或いは摺り合せが不完全な時は不完全潤滑域に移行する傾向があると思われる。従つて試料 No. 2 の如き硬いケルメットは、その発熱量も多くそのため軸受温度上昇も高くなつている。さらに引続きそのまゝ約 3ヶ月間(1日につき約 10 hr, 350 km を走行)これ等の軸受を実用試験した後、軸受面の状況を調べるため取はずした際の状態は Photo. 2 の通りである。一体ケル



(upper) Back (lower) Broken-in surface



All-Kelmet bearing

No. 4 Back Broken-in surface  
Photo. 2 Back and broken-in surfaces of various backed bearings after the experiment on actual passenger car.

メットは軸受支持のための背面突起部分に変化し、そのため軸受面が不安定となり欠損を起している。裏金として鑄鉄および鍛鋼を用いた軸受はいずれも接着層が不完全のため、その部分より剝離しケルメット自体の耐久性が弱いため、約1週間(1日につき約10hr, 350kmを走行)の実用試験後亀裂を生じた。試料No.2の砲金台金のケルメットは約3ヶ月の試験結果では、軸受面の腐蝕および摩耗が殆んど認められず、亀裂などの発生もなく全く良好な軸受性能を示した。しかし、その後9ヶ月(1日につき約10hr, 350kmを走行)を経て、軸受面に亀裂を生じた。すなわちこの現車実験によりケルメット自体の耐久性は車輛の衝撃や振動に対しては不十分であり、裏金とケルメットを金属的に完全に接着させることが必要と考えられる。以上の実験により、ケルメットは裏金との接着が完全ならば半軸受としてパッド給油法を用いても完全な当り面を得る場合には充分長期間の使用に耐え得るものとする。しかし軸受面の当りが不良の場合、或いは裏金との接着が不完全な時は使用中に剝離してケルメットが亀裂し、或いは軸との焼着を起す恐れがある。

V . 結 論

ケルメット軸受はその軸受性能は優秀であるが製造方法にかなり難点がある。著者等の実験結果により、軸受面の当りが良好で裏金との接着が完全であれば、車輛の車軸受としてパッド給油法により充分耐え得る軸受性能を有することが確かめられたが、今回の供試軸受はいずれも裏金との接着が不完全で砲金を裏金としたものも約9ヶ月(1日につき約10hr, 350kmを走行)の実用試験で亀裂を生じた。従つて車輛としてケルメットを実用に供するためにはケルメットの鑄込み、および接着方法についてさらに研究を行う必要がある、またケルメットの組成についてもなるべく白メタルと同等の低い硬さを有し、しかも鉛が偏析する恐れのないものについて研究を要すると考える。