

Б. И. 戈斯捷夫

Ю. Я. 齐里别尔格

制造重负荷轴承用的

ACM 铝合金

国工业出版社

书中阐述了关于用減摩鋁合金制造內燃机滑动軸承及其应用的問題。目前，鋁合金作为各种青銅及巴比特合金代用品，已开始取得了广泛的应用。

书中分析了已經进行的工作并敘述了用鋁合金制造的軸承結構形式的特点。阐述了把鋁合金包复在鋼体上的方法和用双金属扁材制造軸瓦的工艺过程，以及裝在发动机上的軸瓦在实验室和田間的条件下工作时所获得的試驗数据。

根据所檢查用鋼-АСМ 合金新双金属制成的軸瓦工作时取得的良好結果，可建議广泛地大批生产这种軸瓦。

本书的对象为从事內燃机設計和使用的工程技术人员。

Б.И.Гостев и Ю.Я.Энльберг
АЛЮМИНИЕВЫЙ СПЛАВ
АСМ ДЛЯ ТЯЖЕЛОНАГРУЖЕННЫХ
ПОДШИПНИКОВ
МАШГИЗ, 1959

* * *
制造重負荷軸承用的
АСМ 鋁合金

楊 愚譯 洛柏子校

*
机械工业图书編輯部編輯（北京苏州胡同141号）

中国工业出版社出版（北京佟麟閣路30号）

（北京市书刊出版业許可証出字第110号）

中国工业出版社第二印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店經售

*
开本850×1168 $\frac{1}{2}$ ·印張5 $\frac{9}{16}$ ·字数141,000
1963年12月北京第一版·1963年12月北京第一次印刷

印数0001—2,455·定价(10-6)0.89元

*
統一书号：15165·2662(一机-552)

序 言

內燃机，特别是压燃式发动机进一步的改善和加强，在很大程度上取决于发动机曲軸-連杆組中几个負荷最大的零件材料的选择。曲軸的連杆軸承和主軸承即属于这一类零件。

目前，发动机上軸承的标准材料，在多数情况下尚不能满足高速发动机重負荷軸承对于材料质量的要求。

战后时期，苏联和其他国家的各种机构非常注意对新的鋁基軸承合金的研究。鋁基合金可使軸承具有良好的质量，并能满足現代活塞式发动机工作的一切要求。

最初，試驗室研究和使用研究所用的試样是把鋁合金制成整体的(单金属的)而沒有象鋼-巴比特合金或鋼-青銅双金属軸承中一样所具有的结构基体。

但是，以后的研究表明，鋁合金制成的单金属軸承的抗負荷性能較差，不能保証发动机可靠的工作，致使軸瓦产生了残余变形，改变了軸承的尺寸，从而破坏了軸承与軸頸間的正常結合，出現擦伤，及其他缺陷等。

在工作初期，所以采用单金属軸承是因为难于将鋁合金包复在鋼或其他强度大的基体上，直到后来才认为有可能获得鋼-鋁合金的双金属。

获取双金属的一种方法是軋制法，将硬度为 $H_B = 29 \sim 33$ 的减摩鋁合金与硬度 H_B 为 100 以下的硬鋁結合在一起。

对于这种双金属軸瓦的工作所做进一步研究的结果表明，在規定的保用時間內(3000 ~ 4000 小时)，发动机主軸軸瓦的工作是可靠的，但經過較長時間工作后，由于硬鋁基体的疲劳破坏而受到損坏。此时，发现連杆軸瓦的固定魚尾产生切削現象，固定魚尾并因此而旋轉到連杆的下座中去，这样就失掉了与发动机潤滑系統的接触。

消除这些主要缺点的方法只能是：选择强度較大的軸瓦基体或改变 Д-54 和 Д-35 发动机上的連杆汽缸体和軸瓦結構。采用鋁基軸瓦的試驗工作首先就是在上述两种发动机上进行的。

进一步的工作为找寻适用于双金属結構軸瓦的鋁基减摩合金

和制訂將此種鋁合金包復在鋼體上的工藝，也就是使兩種物理-化學和機械性能不同的合金結合在一起的方法。

本書詳細地闡述了新的 ACM 減摩鋁合金及鋼-鋁合金扁材的製造方法。

書中也提供了對用新的雙金屬制成的軸瓦，以及用鉛青銅和其他減摩材料制成的軸瓦所進行的實驗室研究和使用比較試驗的結果。

把鋼和鋁合金組成的雙金屬軋制成標準的扁材，可以大大地簡化軸瓦的生產過程。因為在這種情況下軸瓦可以用沖壓法制成，其背面不必再進行機械加工。在改善質量及顯著地降低成本的同時，沖壓能保證精確的尺寸；此外，還可以大量節約稀有金屬（銅、鉛）和鋼管。而更主要的是可以避免在鑄造鉛青銅軸瓦時，鉛對於人體健康的有害影響。

採用雙金屬扁材，可使今後軸瓦的生產過程完全自動化。

可以認為，新的減摩材料所具有的上述優點，必然使它更加廣泛地應用於各種內燃機上。

本書所闡述的關於包復在鋼體上新的鋁基減摩合金在應用方面所進行的科學研討和試驗結果，証實了上述結論的正確性。

蘇聯許多科學研究機關和工廠（拖拉機科學研究所“НАТИ”、科學院機器學研究所、科學院冶金研究所、拖拉機製造廠、莫斯科有色金屬加工廠）共同解決了重負荷發動機軸瓦用新雙金屬材料選擇和應用的課題。他們以創造性的勞動完成了這一工作，並使這種新的雙金屬材料和內燃機用的軸瓦投入了工業生產。

本書敘述的材料可供設計、製造和使用固定式及移動式內燃機的工程技術人員，以及研究和選擇減摩材料的科學研究工作人員之用。

在闡述到許多和研究試驗減摩鋁合金以及鋼-鋁合金軸瓦有關的問題時，也採用了作者以前發表過的文章。

“新的減摩鋁合金 ACM-НАТИ”一章是由 Ю.Я. 齊里別爾格和 К.М. 赫魯曉娃寫的。“鋼-鋁合金軸瓦的結構”一章由 Ю.Я. 齊里別爾格寫成。其他各章是由 В.И. 戈斯捷夫和 Ю.Я. 齊里別爾格共同寫的。

目 次

序 言

一、苏联及其他各国在采用铝合金制造重负荷 滑动轴承方面的资料	1
二、单金属铝合金轴瓦及其缺点	16
三、新的减摩铝合金ACM-HATH	30
四、把减摩铝合金包复在钢体上的方法 (在开口式孔型内多次轧制)	45
1. 确定轧制双金属的主要参数	47
(1) 轧制双金属的一些理论原理	47
(2) 用热轧法制造双金属扁材	52
(3) 用联合轧制法制造双金属扁材	55
(4) 带有中间层的双金属扁材的制造	65
2. 轧制用有效的润滑剂的选择	68
3. 轧制后双金属退火温度的选择	69
4. 双金属扁材制造工艺	73
5. 双金属的试验方法	79
(1) 双金属减摩层与基体连接强度的试验	79
(2) 钢-铝合金带的硬度测量	86
(3) 减摩层厚度的测量	88
五、由双金属(ACM合金-钢)扁材制成的轴瓦的架上试验、 发动机上试验和使用试验	92
1. 钢-铝合金轴瓦的架上试验	92
2. 钢-铝合金轴瓦在使用条件下的试验	102
3. 钢-铝合金轴瓦的进一步改进	107
六、钢-铝合金轴瓦的结构	109
1. 钢-铝合金轴瓦的主要参数	109
2. 对曲轴轴颈的要求	125

3. 对轴瓦加工的要求	125
4. 对润滑油的要求	125
七、薄壁钢-铝合金轴瓦在柴油机重负荷主轴承上的应用	127
八、用双金属扁材制造互换性轴瓦的工艺过程	140
1. 钢-铝合金轴瓦大量生产的工艺过程	140
2. 钢-铝合金轴瓦成批生产和小批生产的工艺过程	158
九、在拖拉机发动机上采用钢-铝合金轴瓦 的技术-经济效果	166
十、结论	169
参考文献	170

一、苏联及其他各国在采用鋁合金制造 重負荷滑动軸承方面的資料

用于制造內燃机主軸承和連杆軸承軸瓦的主要减摩材料如下:

- 1) 錫基或鉛基巴比特合金;
- 2) 鉛青銅;
- 3) 銅合金和銀合金;
- 4) 减摩鋁合金。

广泛应用的錫基和鉛基巴比特合金(B83、B89、BT、BK-2、COC6-6及其他牌号)虽然具有較高的减摩性能,但在很多情况下还不能保証內燃机重負荷軸承的可靠工作。这种軸承上的巴比特合金层損坏和报废的原因是:巴比特合金的疲劳强度低(約比鉛青銅低 $\frac{1}{2} \sim \frac{1}{3}$)和在高温工作时支承能力小。因此,采用巴比特合金作为拖拉机发动机的重負荷軸瓦的减摩材料就受到了很大限制。

从一系列的研究結果証明,巴比特合金层的支承能力和疲劳强度随其厚度减小而提高。但是,如果将浇鑄在鋼体上的巴比特合金厚度减少到0.25毫米以下时就很危險,因为当巴比特合金被磨損时,可能产生軸瓦的鋼体与軸直接接触的現象。因此在很多情况下采用“三层”軸承,将厚度为30~150微米的巴比特合金浇鑄在由减摩材料制成的底层上(鉛青銅、錫、青銅等等),或者以强度大的减摩合金(如錫青銅)制造軸瓦基体。在KДМ-46发动机(C-80拖拉机)的連杆軸承內,在“万国”公司发动机的連杆軸承和主軸承內,装置有鉛基巴比特合金(厚度150~350微米)軸承。

直到目前,在广泛使用的拖拉机柴油发动机(Д-35、Д-54)、运输用发动机、空气压缩机及其它机器中,仍然使用CB-30鉛青

銅作为曲軸的重負荷軸承的減摩材料。

鉛青銅軸瓦在拖拉機上的多年使用証明，这种材料具有很多优点：疲劳强度高，在滑动速度大（8~10米/秒）和在高温（150°C以下）工作时能够承受較大的单位負荷（250~280公斤/厘米²）。鉛青銅的最大优点是：溫度高达 250°C 时，仍能保持原有的机械性能，而錫基巴比特合金的极限溫度則小于120°C。

但是鉛青銅也有很大的缺点：磨合性能不良；在潤滑油中的有机酸影响下容易产生銹蝕，特別是在工作溫度較高时更易产生；澆鑄工艺过程的成本高昂；澆鑄过程对工人的健康損害大，并消耗大量稀有材料（銅和鉛），尤其是在单件澆鑄管坯时更为显著。

在苏联，由于鎳合金和銀合金的产量不多，因而沒有作为汽車拖拉机发动机軸瓦用的減摩材料。

鋁基減摩合金是制造汽車、拖拉机、运输用和固定式柴油機曲軸重負荷軸承的一种有前途的合金。

鋁合金是在第一次帝国主义战争时期开始当作減摩材料使用的；鋁合金之所以出現和得到推广，是因为必須以鋁来代替稀有的有色金属（錫和銅），以提高工作負荷和工作速度，并且产生了象上面所指出的这样一些使用条件，錫巴比特合金已成为一种不能滿足要求的材料了。

四十五年来，提出了許多具有各种合金元素的鋁基合金。在制造这些合金时，都希望在合金中具备有均匀分布在軟基体上硬而且小的顆粒，这样可以得到低共晶合金，并且可以应用塑性变形来改进超共晶合金組織。

苏联和其他国家对于軸承合金进行了广泛的研究，其結果表明，在鋁二元和三元合金中可以找到适合于制造內燃機重負荷軸承用的合金。

減摩鋁合金与現有材料比較具有下列优点：成本低；能承受大負荷；疲劳强度大；导热性能好，可保証油层溫度的稳定性，从而能保持滑油在重負荷軸承中工作时所需要的粘度。

根据轴承材料所要求的各种性能，在很多情况下铝合金都比其他合金优越。

在試驗架上对直径200毫米的轴承〔17〕所作的专门試驗表明，铝合金具有較小的摩擦系数（图1），特別当滑动速度小于10米/秒时。

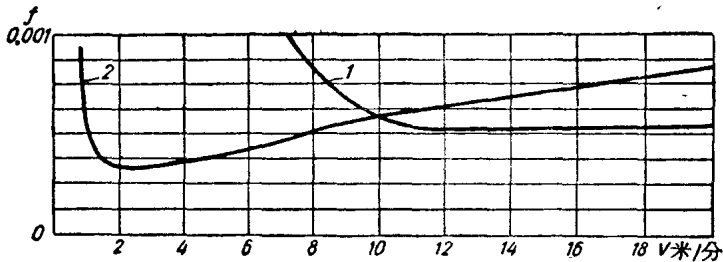


图1 在专门装置上对直径为200毫米的轴承作架上試驗时，摩擦系数 f 与滑动速度 v 的关系：

1—鋼-巴比特合金的双金属軸瓦；2—单金属铝合金軸承。

可以认为，采用铝合金軸瓦的发动机的經濟性比采用青銅軸瓦的发动机的为高，或者与采用巴比特合金軸瓦的发动机的相等。

可塑铝合金的疲劳强度及支承性能大大地超过了机械性能最好的巴比特合金。

在“温捷尔武特”(Ундервуд)型試驗机上得到的結果可以作为各种轴承的支承性能的定量比較。把旋轉圓盘偏心地安装在試驗机的軸上，就能产生可变負荷。

在这种試驗机上进行的試驗表明，当脉动負荷超过140公斤/厘米²时，澆鑄有巴比特合金的薄壁軸瓦就不能进行工作，并受到破坏，而单金属铝合金軸瓦在負荷为350公斤/厘米²时，仍能进行工作而不致破坏。由于铝合金轴承具有較高的支承性能，因而增加了現有尺寸軸瓦的安全系数。由此可見，用铝合金軸瓦来代替巴比特合金軸瓦，可以消除以前在使用中产生过的减摩层由于疲劳而损坏的現象。除此以外，可能把新設計的发动机作得更

短一些，而曲軸的強度就會更大些。在某些情況下，由於曲軸的剛性大大提高，以至於可以不採用減震器。減小發動機的長度後，則金屬的消耗減少而發動機的成本也降低。因此，用鋁合金代替巴比特合金從而能採用較小尺寸軸瓦的好處是極為明顯的。

減摩鋁合金另一良好特性是具有較小的彈性模數，因為由於曲軸的歪斜或彎曲或是其他局部過負荷（由於安裝不正確及其他原因）而出現較大的邊緣壓力時，鋁合金發生變形，使負荷重新分布在較大的面積上，並在摩擦面之間保持一層油膜。雖然鋁合金彈性模數較小，但具有足夠的強度，所以它仍然比其他許多種製造軸承的材料優越。因此，鋁合金可用於在重負荷的條件下工作，特別是雙金屬結構的軸承上。

這種合金的珍貴特性是具有抗潤滑油及其分解物腐蝕作用的穩定性。

某些可塑鋁合金的性能接近於高強度的巴比特合金，但與巴比特合金不同的是可塑鋁合金在發動機的工作溫度時，性能降低很少。

此外，為了適應一些特殊的工作條件，還能獲得硬度大大高於錫基和鉛基巴比特合金的鋁合金。

必須指出，減摩鋁合金是有一定應用範圍的，因而就不能成為在任何工作條件下的各種減摩材料的萬能代用品，正如鉛青銅不能完全成為巴比特合金的代用品一樣。

但是，對於某些結構的發動機來說，採用鋁合金要比採用其他合金更為合理。

鋁和鎳、鎢、錫、矽的合金能在最大程度上滿足汽車拖拉機用柴油機軸承材料的要求。從大量已被發現並推薦使用的鋁基合金中，工業生產所掌握並已實際應用於內燃機重負荷軸承上的有下列幾種：AH-2.5 和 ACM（詳情見後），KS-411B，KS-837，KS-83a，KS-1275，RRAC-9，750 合金及其變態合金 XB-80，S，XA-750 等等。

这些合金的化学成分和应用方法见表1，合金的机械性能见表2（为了比較起見，还列出了巴比特合金B83和鉛青銅CB-30的特性）。

AH-2.5合金〔1〕是柴油机科学研究所（НИИД）研究出来的。这种合金除鋁以外，还含有2.7~3.4%的鎳。就其内部組織來說，AH-2.5合金为鎳在鋁中的塑性固溶基体（濃度很小）和沿固溶体晶粒邊緣分布的共晶体（固溶体+ Al_3Ni ）所組成。AH-2.5合金的机械性能（硬度，冲击韌性等），高于B83高錫巴比特合金。

极限工作性能的实验性檢查表明，AH-2.5合金可用于单位負荷 ≤ 250 公斤/厘米²和滑动速度 ≤ 10 米/秒的軸承上。

AH-2.5合金适用于制造单金属軸瓦。这种軸瓦曾在各种型号的汽车和拖拉机的发动机上作过試驗。

架上試驗和使用試驗的結果証明，这种合金具有良好的减摩性能。

但是，当这种軸瓦在汽车和拖拉机的发动机上使用时暴露出很多結構上的缺点，因此沒能在实际中采用。

虽然AH-2.5合金的机械强度比高錫巴比特合金高一倍，但是把这种合金制成单金属軸瓦，从工作的可靠性來說，其强度仍然不够。

因此，只有选择了正确的工作条件（单位負荷不大，滑动速度不高），及安装正确（正确地选择軸承間隙，軸瓦配合的預加公差等）的情况下，采用AH-2.5塑性合金制造单金属軸瓦才能获得成功。对于装在鑄铁和鋼制外壳內的軸瓦來說，工作温度具有特殊意义，因为在这种情况下，工作温度不能超过該合金的所謂“临界”温度（80~90℃）。

目前，苏联有一个柴油机厂在四缸柴油机的主軸承和連杆軸承中采用由AH-2.5合金制成的单金属軸瓦，这种柴油机功率不大（40馬力），供农村电站用。

KS-411B鋁合金 第二次世界大战期間，德国曾采用这种

用于汽车拖拉机重负荷轴承的标准减摩铝合金的化学成份 表 1

减摩铝合金	标准合金的化学成份	用 途
1	2	3
ACM	Sb—3.5~4.5%; Mg—0.3~0.7%; 其余为Al	包复在鋼带上(扁材)
AH-2.5	Ni—2.7~3.4%; 其余为Al	制造单金属軸瓦和軸套
KS-411B	Fe—1.2%; Mn—1.2%; Zn—0.2%; Pb—0.2%; Cr—0.5%; Ni—0.5%; Ti—0.3%; Sb—1.0%; 其余为Al	两面包复在鋼帶上
KS-837	Sn—5%; Pb—1%; 加入物: Cu—1%; Ni—1%; Si—1%; Mg—0.5%; 其余为Al	包复在强度大的铝合金上 (硬铝)以及用“阿里芬”过程 亮鑄在鋼套圈上
KS-83a	Zn—4.5~5.5%; Si—0.15~0.40%; Mg—0.25~0.50%; Pb—1.0%; Fe<0.4%; Mn<0.1%; 其余为Al	亮鑄于安装在铝合金曲軸 箱中的单金属軸瓦和軸套
KS-1275	Cu—1.5~1.8%; Si—11.5~13.5%; Mg—0.7~1.1%; Ni—0.7~0.9%; Fe<0.7%; 其余为Al	同 上
RRAC-9	Sn—5.5~7.0%; Cu—0.6~0.9%; Ni—1.4~1.7%; Si—0.15~0.3%; Mg—0.7~1.0%; Fe—0.2~0.45%; 其余为Al	亮鑄单金属軸瓦和軸套
阿尔闊阿 (Аркоа)750	Sn—5.5~7.0%; Si—0.7%; Fe—0.7%; Cu—0.7~1.3%; Mn—0.1%; Ni—0.7~1.3%; Ti—0.2%; 其他元素—0.3; 其余为Al	亮鑄单金属軸瓦和軸套, 并用于包复鋼帶

續表

減摩鋁合金	標準合金的化學成份	用 途
1	2	3
XB-750	Sn—6.5%; Cu—2%; Ni—1.2%; Mg—0.8%; 其餘為Al	澆鑄單金屬軸瓦和軸套
XA-750	Sn—6.5%; Cu—1.0%; Ni—0.5%; Si—2.5%; 其餘為Al	澆鑄單金屬軸瓦和軸套, 并用于包復鋼帶
XB-80S	Sn—6.5%; Cu—1.0%; Ni—0.5%; Si—1.5%; 其餘為Al	用于包復鋼帶
砂合金	Si—4%; Cu—0.5~1.5%; 其餘為Al	用于包復鋼帶

用于制造重負荷軸承軸瓦的減摩鋁合金的物理-機械性能 表2

減 摩 鋁 合 金	硬 度 H_B		抗拉強度 延伸率 (公斤/毫米 ²) (%)		熱膨脹系數 (溫度為 20~100°C)
	溫度為 20°C時	溫 度 為 100°C時	溫度為20°C時		
ACM	25~28	24~26	8.5	9~16	23.6×10^{-6}
AH-2.5	33~35	27.5~30	14	23	25.5×10^{-6}
KS-411B	42~50	—	—	—	—
RRAC-9(750)	45	—	15.5	12①	24.3×10^{-6}
750-T101②	50	—	16.2	8	24.4×10^{-6}
XA-750-T6③	45	—	15.5	10④	23.9×10^{-6}
XB80S-O④	50	—	14.8	25	23.9×10^{-6}
XB80S-H12⑤	50	—	17.6	6.0	23.9×10^{-6}
BPC-30	30.0	—	9.5	5.0	—
B83	30.0	15	7.5	5.0	24.5×10^{-6}

①—試樣的計算尺寸4d。

②—T101表示熱處理，淬火和局部時效，并然後將套筒鍍粗4.5%。

③—T6表示熱處理，淬火和完全時效至最大硬度。

④—O表示合金已退火。

⑤—H12表示合金經過冷強化處理。

合金制造汽車发动机連杆軸承上的軸瓦[17,25]。合金硬度 $H_B = 42 \sim 50$ ，可用來包复鋼帶。

为了改善鋼和軸承材料間的連結强度，在中間可以加上很薄的一层鋁矽合金。因为，在包复（軋制）过程中鋼基体会冷却硬化，而双金属加热到鋼基体再結晶所需要的温度时，这一层鋁矽合金能防止 $FeAl_3$ 脆层的形成。

包复在鋼体上的KS-411B合金厚度取为0.4~1.5毫米。鋼-KS-411B合金的双金属軸瓦曾被安装在“微型轎車”（Volkswagen）牌汽車发动机的連杆軸承內使用过。德国生产的“福特V-8”牌汽車上的連杆軸承的軸瓦是一个厚度为1.7毫米的鋼体，在其两面包复有0.4~0.6毫米厚的KS-411B鋁合金；軸瓦壁的总厚度为2.755~2.762毫米。

曾經用电鍍法鍍上一薄层鎳，大大地改善了这种合金的磨合性能。

虽然KS-411B合金在汽車制造工业中曾被广泛地（特別在战争时期）用作制造气化器式发动机上的連杆軸承，但是后来已被含有鋅的合金代替。

KS-837合金[17,25]曾在德国作过試驗，并且进行了一些推广。KS-837合金含有5%的錫和1%的鉛，但为了提高热处理后的硬度，还增添了1%的銅、1%的鎳、1%的矽和0.5%的鎂（在书中沒有列出正确的化学成份）。鉛和錫以单独的夹杂物的形式存在于合金体中。

合金硬度 $H_B = 40 \sim 60$ 。KS-837合金具有一种渗透性能和良好的摩擦性能。

对于曲軸軸頸直徑不大于180毫米的內燃机的重負荷連杆軸承和主軸承來說，需要采用双金属軸瓦：用高强度鋁合金（硬鋁）制成基体，用KS-837鋁合金制成减摩层（图2）。

德国制訂了用“阿里芬”特殊方法将KS-837合金熔化在鋼质套圈上的工艺过程（图3）。但是，这种澆鑄方法到現在还是不經濟的。

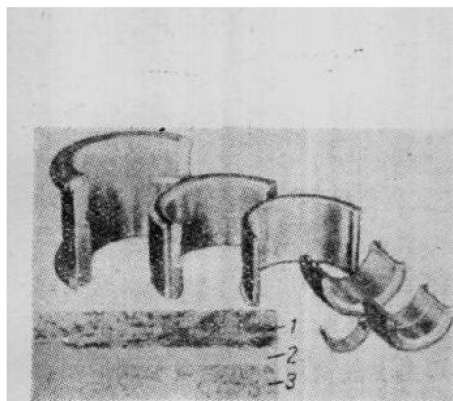


图2 直径在180毫米以下的主轴承和连杆轴承用的壁厚为2~30毫米的双金属轴瓦[德国“卡尔·斯米特”(Карлшмидт)公司];

1—KS-837减摩层; 2—中间层; 3—轴瓦基体—邦杜尔(Бондур)高强度合金(Al; Cu; Mg)。



图3 带有KS-837合金的钢管毛坯:

(用“阿里芬”方法熔铸的)

1—KS-837减摩层; 2—中间层(“阿里芬”层); 3—钢体。

KS-83a 合金也曾经在德国被采用过, 其金相组织为非均质的: 硬的基体和软的夹杂物。

这种合金在辗压和退火后使用, 其硬度 $H_B \leq 60$ 。

在合金中加入1%以下的铅形成单独的软夹杂物, 可以改善合金的磨合性能[25]。

用上述合金可以制造各种单金属轴瓦。

例如, 多年来, 在曲轴箱由轻金属制成的“微型轿车”牌汽车的发动机上一直是采用KS-83a铝合金制成的单金属轴瓦, 在重负荷使用条件下, 效果良好(图4)。

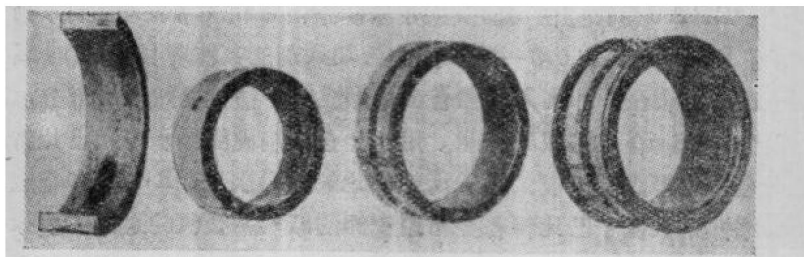


图4 由KS-83a铝合金制成的“微型轿车”发动机用的一套单金属主轴承轴瓦在运转了230000公里以后的情况。

在这些发动机上，汽車可以行駛200000公里以上而不需更換軸承。

KS-83a 合金仅只用于制造重負荷軸承（軸套或单金属軸瓦）。

KS-1275合金是德国于1913年研究成功的，它是一种含有鎳和銅加入物的共晶体鋁矽合金。合金具有非均质組織：在軟基体内有硬夹杂物存在。这种合金可由澆鑄使用，也可由軋制使用。合金最好是經過热处理后使用：在这种情况下，合金硬度 $H_B = 100 \sim 120$ ，因为退火后 ($H_B = 60 \sim 65$) 合金不易加工。由于KS-1275合金含有鎳和銅，因此这种合金制成的軸承可在溫度較高时 (200°C 以下) 进行工作。

KS-1275 合金主要是用来制造单金属軸瓦和軸套，有时也用来制造双金属軸瓦(当工作溫度在 180°C 以下时)。必須指出，由于合金硬度高而磨合性能不好，因此軸瓦和軸的表面必須仔細加工，并要进行充分的潤滑。

为了改善硬鋁合金的磨合性能，建議在軸瓦的表面上（特別是連杆軸承）采用電鍍法鍍一层鉛-鎳合金。

上述合金适用于淬过火的或調过质的鋼軸一起工作。德国还研究出一种与軟的、未淬火的鋼軸或鑄鉄軸一起工作的KS-980和KS-981合金，这种合金含有 $6 \sim 12\%$ 的錫，硬度 $H_B \leq 40$ 。合金中不含有鎳、銅和其它成分，这就可以降低合金的硬度。KS-980和KS-981合金通常只用于澆鑄单金属軸瓦。

RRAC-9合金在英国被采用来制造汽車和飞机发动机的軸承。RRAC-9，750和一些以錫作为加入剂的其他牌号合金均属于这一类合金：即加入剂在合金中形成一个塑性易熔組成部分，因而能改善合金的減摩性能。用这种合金制成的軸承与用巴比特合金和鉛青銅澆鑄成的軸承所作的比較試驗表明，RRAC-9合金的摩擦系数低于巴比特合金和鉛青銅的摩擦系数[15]。在“罗尔斯-洛伊斯”(Rolls Royce)和“宾特”(Bent)牌发动机上的主軸承和連杆軸承上对这种合金进行的試驗表明，这种合金比錫巴比特合

金能够承受更大的压力，而疲劳强度也不亚于鉛青銅。这种合金可以压鑄成单金属軸瓦，然后再进行热处理。与这种合金軸瓦相配合的工作軸要經過淬火或渗氮。

750合金 这种合金是美国“阿尔闊阿”(Алкоа)公司研究成功的，其化学成分接近于 AC-9 合金。合金由塑性共晶体和鋁中錫固熔体的較硬顆粒組成。共晶体的硬度 $H_B = 18 \sim 20$ ，固熔体的硬度 $H_B = 45 \sim 60$ 。由于合金含有少量的銅和鎳，因而合金的强度、硬度和减摩性能都得到了提高。鋁錫合金具有很高的疲劳强度。例如750合金的疲劳强度是6公斤/毫米²，而巴比特合金 Б83 只是3公斤/毫米²。

这种合金鑄成的单金属軸瓦主要用于大功率发动机上；并且在单位压力大，中等轉速和中等温度条件下的工作效果非常良好[23]。合金具有很高的疲劳强度，在这方面它不仅大大地超过了錫巴比特合金，而且也超过二元鉛青銅。

用750鋁錫合金制成的軸瓦曾在“費尔班克斯-摩尔斯”(Fairbanks-Morse)发动机上做过試驗[27]。用这种合金制成的軸承在发动机上一共試驗了3000小时。試驗后，軸承的磨損非常小：主軸承的磨損为0.038毫米，連杆軸承的磨損为0.043毫米。

在“包尔督因”(Болдуин)公司制造的Vc型柴油机上进行了同样的試驗，其結果良好。

为改善750合金而进行的一些研究工作証明[23]，矽对合金的减摩性能会产生良好影响。在大負荷和干摩擦的条件下，矽能提高鋁錫合金的减摩性能，这一点对于发动机在起动时是很重要的。并且，矽还能消除在軋制750合金时所产生的不良的热脆現象。

因此，含有2.5%矽的XA-750鋁錫合金得到了广泛应用。合金的組織是：具有99%左右錫的易熔共晶体，鋁中銅和鎳的固熔体，矽的自由夹杂物及含鎳的組織相。

在450°C条件下进行合金热处理，可促使矽成份中的夹杂物球化，使合金的强度提高。