

先进经验丛刊

軸承合金的
应用和鑄造

机械工业出版社

出版者的話

合金軸承是汽車、拖拉機以及機床、建築機器、發動機等最重要的零件之一。隨着國家工業化速度迅速成長，合金軸承的需要量必將急劇增加。因此如何掌握技術，製造出優良的軸承，就成為軸承鑄造部門的一個主要環節。

本書第一部分介紹國外鑄造各種合金軸承的經驗，特別是蘇聯的先進經驗，其中包括基本知識、鑄造原理、控制方法及工藝規程等。

在各種軸承合金中，銅鉛合金比其他各種軸承合金更能耐高溫和高压，所以蘇聯很多軸承都用這種合金鑄造。但由於銅鉛合金不論在冶金方面及澆鑄方面都比較困難，如果不好好的加以控制，往往就不能獲得良好的成品。本書除了在第一部分中着重介紹了這類合金的鑄造以外，第二部分收集了國內對於鑄造這類合金的具體情況和經驗，以供各廠在實際工作中參考。

編 者：機械工業出版社鑄工編輯組

NO. 0491

1954年5月第一版 1959年4月第一版第三次印刷

787×1092¹/₃₂ 字數 114 千字 印張 4¹/₁₆ 13,101—17,200冊

機械工業出版社(北京阜成外萬庄)出版

機械工業出版社印刷廠印刷 新華書店發行

北京市書刊出版業營業
許可証出字第008號

統一書號 15033·1347
定 價 (10) 0.54元

目 次

第一部分

引擎軸承的基本知識·····	蘇聯A.C.薩姆科著 董瑞慶譯(1)
錫基白合金和底壳的黏合·····	孫凱南編譯(16)
怎樣鑄造銅壳銅鉛合金軸承·····	蘇聯B.И.彼塔茨基著 周衍康譯(28)
介紹一種銅鉛合金軸承的製造方法·····	孫 壘編譯(56)
銅壳銅鉛合金軸承的製造·····	蘇聯A.C.薩姆科著 王有槐譯(62)
銅鉛合金軸承的重澆浸鑄法·····	蘇聯A.C.薩姆科著 王有槐譯(65)
軸承合金的控制和回收方法·····	孫凱南編譯(68)
雙金屬粉末燒結軸承·····	蘇聯B.B.薩克林斯基著 王有槐譯(81)
輕金屬軸承合金·····	孫凱南編譯(87)
介紹一種澆鑄機床軸承的合金——鋅合金·····	
·····	蘇聯B.C.亞斯達烏羅夫著 張銘勳譯(92)

第二部分

銅鉛軸承合金·····	中國科學院冶金陶瓷研究所(94)
銅鉛合金軸承的試造·····	孫凱南(108)
高速車床主軸軸承使用銅鉛合金鑄造經過·····	路錫恩(116)
附表	

第一部分

引擎軸承的基本知識

蘇聯A.C.薩姆科著 董瑞學譯

滑動軸承的種類

連桿軸承與曲軸軸承是內燃機中最基本與最重要的機件。連桿軸承與曲軸軸承的結構可分為滾動軸承與滑動軸承兩類，這兩類軸承都可應用於汽車與拖拉機引擎上，但以滑動軸承應用得比較廣泛。

當滾動軸承磨損時，一般是不能修理的，必須換新或是經過修整。而滑動軸承則容許多次的修理。

滑動軸承的結構又可分為下述三類：

1. 厚的底壳，底壳內壁澆鑄厚 3 公厘以上的減摩合金；
2. 不用底壳，直接將白合金澆鑄在連桿或汽缸體上；
3. 薄壁可互換的底壳，底壳內壁澆鑄厚 3 公厘以下的減摩合金，一般厚為 0.15~0.38 公厘。這類軸承現在應用於多數的汽車與拖拉機引擎上。

目前這三類結構的軸承都在應用，但引擎滑動軸承的演變逐漸從厚壁軸承趨向無壁並進而轉向薄壁軸承。

應用薄壁可互換的軸承後，使引擎性能改善，修理時澆鑄的合金減少，並省工省料。由於軸承的精密加工，使引擎修理時間也隨之減少。

在調整軸承的間隙時，一般是用墊片來調整，因此軸承的承受表面並不是圓形的。

內燃機滑動軸承裝置的結構，至今尚無肯定的結論。最近的新發展

有三連金屬軸承及直接澆鑄在曲軸軸頸上的軸承。

三連金屬軸承是用鋼的底壳，底壳內壁澆鑄銅鉛合金或多孔性的銅鎳合金，然後再澆鑄一層白合金。

這種結構的軸承，鋼底壳可以增加強度，中間則有很高的抗疲極限，並在底壳與白合金工作層之間形成一個堅固的黏合層。因此這樣的軸承既有很高的強度，又有很好的減摩性。

由於減摩合金的特質，也可以用錫基白合金或薄層反白（浸透可塑性體的纖維）直接澆鑄在曲軸軸頸上。曲軸軸頸外面則包着磨光的鋼軸承。這種結構的軸承，可以增加曲軸的壽命而不必重磨。

蘇聯拖拉機與汽車引擎軸承的類型如表 1。

表 1 蘇聯拖拉機與汽車引擎的軸承

拖拉機及汽車的牌號	軸 承	
	主 軸	連 桿
拖拉機 СХТЗ 萬能牌 (Универсал) АТЗ-НАТИ ХТЗ-НАТИ СТЗ-НАТИ (1947年以前) ЧТЗ С-65 ЧТЗ С-60 В-20 (С-65型引擎) ЧТЗ С-80 КД-35 СТЗ-НАТИ (1947年以後)	滾珠 滾珠 底壳，內澆白合金 汽缸體上有底壳，內澆白合金；蓋頭直接澆鑄白合金 軸襯，內澆白合金 薄壁底壳，內澆銅鉛合金 薄壁底壳，內澆銅鉛合金	底壳，內澆白合金 無底壳，直接澆鑄白合金 底壳，內澆白合金 無底壳，直接澆鑄白合金 無底壳，直接澆鑄白合金 薄壁銅鉛合金底壳，內澆白合金 薄壁底壳，內澆銅鉛合金

(續表 1)

拖拉機及汽車的牌號	軸 承	
	主 軸	連 桿
汽車		
ЗИС-110	薄壁底壳，內澆白合金	薄壁底壳，內澆白合金
ГАС-M		
勝利牌(Победа)		
ГАС-51		
ГАС-63	汽缸體及蓋頭上直接澆鑄白合金	無底壳，直接澆鑄白合金
ЗИС-150		
ГАС-AA	底壳，內澆白合金	底壳，內澆白合金
ЗИС-5		
ЗИС-253		
ГАЗ-200		
	薄壁底壳，內澆銅鋁合金	薄壁底壳，內澆銅鋁合金

滑動軸承的磨損

滑動軸承是一個包在軸頸外面的套圈。曲軸軸頸與軸承都應該絕對成圓柱形，其間有正常的間隙以儲存潤滑油。在靜止狀態時(如圖1)，軸頸①是架在軸承②的A點上，軸頸與軸承之間有潤滑間隙E，並逐漸向下成楔形槽B。

引擎發動後，曲軸軸頸①(如圖2)向箭頭方向轉動，轉速逐漸增加，潤滑油就被吸向楔形槽部分，結果將軸頸逐漸抬起，並將軸頸偏向於一定方向上。當引擎達到一定轉速時，軸頸與軸承之間就為潤滑油層A分開。

顯然，要達到完全的液體摩擦，潤滑油層的厚度應比軸頸與軸承表面起伏度的總和要大。

潤滑油間隙的數值，對曲軸軸頸及軸承的負荷能力有很大的影響。當引擎在爆炸衝程時，負荷變化與方向變化都很大，因此衝擊力與間隙

的數值並不成正比，衝擊力的增長比間隙要快得多。如果間隙太大，則衝擊力將使曲軸軸頸與軸承很快地磨耗。

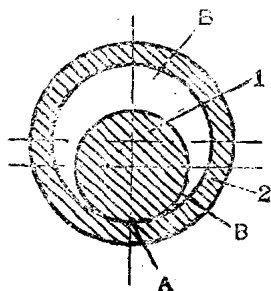


圖 1

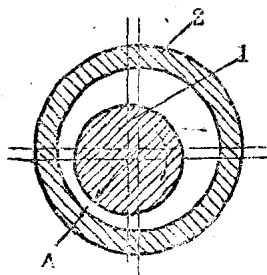


圖 2

曲軸軸承的潤滑油間隙受很多因素的影響，特別是與軸頸及軸承的加工精度最有關係。

初隙 (A) 即新的或剛大修後的運桿或曲軸軸承的間隙，可按下式計算：

$$A = 0.467A \cdot \sqrt{\frac{n \cdot a \cdot \varepsilon}{\kappa \cdot (A + \varepsilon)}} \dots \dots \dots (1)$$

式中 A — 軸頸直徑 (公厘)；

n — 引擎每分鐘轉數；

a — 潤滑油黏度 (公斤—秒/公厘²)；

κ — 軸頸在軸承中的單位壓力 (公斤/公厘²)；

ε — 軸承長度 (公厘)。

曲軸軸承的終隙 (E) 即當軸承需要緊一緊或修理時的間隙，可按下式計算：

$$E = \frac{A^2}{4B} \dots \dots \dots (2)$$

式中 A — 初隙 (公厘)；

B — 軸與軸承表面起伏度之和 (公厘)，大小與軸頸及軸承的加工方法有關。

由公式(1)可知，軸頸直徑減小時，大修時的軸承初隙便應該減小。由公式(2)可知，軸頸直徑減小時，終隙是與初隙的減小成平方比，也就是說，當軸頸直徑減小時，終隙的減小比初隙的減小要快得多。因此，當軸頸直徑減小時，軸承大修期的間隔比正常時要減小些。

現在拖拉機的引擎上，爲了將達到終隙的軸承回復到初隙的軸承，一般採用的有兩種方法：第一種是用墊片收緊軸承，另一種是換底壳。在第一種情況下，當所有墊片都抽完後，應重新澆鑄合金，然後加工，使軸承表面與軸頸表面相互配合。

一般工作情況下，曲軸軸頸的磨耗逐漸增大，在減小的直徑上就顯

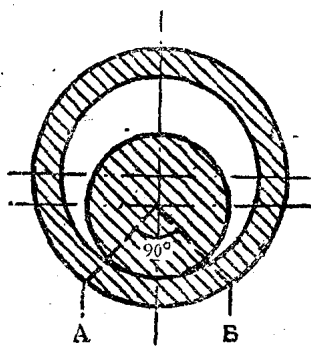


圖 3

現出不均勻的磨耗。結果使磨損的軸頸形成一個不正確的橢圓。連桿軸承與曲軸軸承的磨損大體相似。當橢圓軸頸達一定程度後，引擎沒有轉動時，軸頸並不是架在像圖1中所示的A點上，而是架在像圖3中所示的圓弧AB上，沿着圓弧是楔形槽。這樣當引擎發動時，軸頸轉動困難，在軸頸與軸承之間成半液體性的摩擦，結果就會產生嚴重的磨損。

爲了達到液體摩擦，新的或大修後的軸頸的橢圓度不應超過初隙的0.2。

曲軸軸頸的最大容許橢圓度不應超過終隙與初隙之差，當超過此值時，收緊後的軸承便成楔形。

當曲軸軸頸到達極限橢圓度時，便應修理至絕對的圓柱形，但直徑自然將減小。

減小曲軸軸頸的直徑後，其強度隨之減低，軸承上的單位壓力隨之增大。軸承上單位壓力增大後，軸頸與軸承間的潤滑油會被擠出，機件將在半液體性的狀態下很快地磨損。因此曲軸軸頸直徑的減小不能超

過一定範圍，約為曲軸直徑的4~10%，視軸頸直徑大小，曲軸的結構，引擎馬力及轉速而定。

下列數字可供參考：新的或大修的軸承間隙應為 $0.0005D \sim 0.001D$ ；收緊或大修前的最大容許間隙應為 $0.003D \sim 0.0035D$ ；曲軸軸頸大修前的極限橢圓度應為 $0.001D$ （ D —軸頸直徑）。

軸承的底壳材料

厚壁底壳（內壁澆鑄白合金）的材料為青銅、黃銅或鋼，也有用鑄鐵的。

很久以來，青銅的底壳採用很廣，主要是由於青銅具有下列各種特性：1) 易於塗錫，以便澆鑄白合金，因此白合金層的黏合特別可靠；2) 有優良的熱傳導性；3) 易於機械加工。

厚壁底壳材料常用銅基合金，例如矽青銅。

最近數年，青銅的厚壁底壳已為鋼的厚壁底壳逐漸所代替。因為鋼比青銅有較大的硬度與強度，變形較小，成本也較低。但鋼底壳在塗錫及澆鑄白合金時，需要特別小心，才能得到滿意的結果。如在塗錫及澆鑄白合金時小心操作，白合金與鋼的黏合強度是完全可靠的。

在鑄鐵底壳上塗錫比較困難，原因是由於鑄鐵中有石墨的緣故。因此在鑄鐵底壳上澆鑄白合金時，一般用槽、孔來幫助黏合。但這種保持白合金的方法，限制了鑄鐵底壳祇能用在較低的負荷與速度的機件上，並且需要較厚的底壳與白合金。

薄壁底壳的材料是用鋼（一般是鋼帶），其內壁澆鑄白合金。鋼帶厚度為0.9~2公厘。用於底壳的鋼帶，一般用低碳鋼（C-9及C-10），含碳量為0.06~0.10%。其化學成分如下：碳0.10%、錳0.22%、矽0.05%、磷0.011%、硫0.008%。硬度為洛氏B（ R_B ）62。

軸承的內襯材料

軸承的減摩材料，應滿足引擎結構及工作條件的要求。現代滑動軸承材料的基本性能要求於下：

1. 較小的液體摩擦和乾摩擦係數；
2. 燒鑄層應有較高的抗摩壽命；
3. 有足够的機械性能(疲勞極限、彈性比例極限、抗壓強度)，當軸承熱至工作溫度時，強度不應驟然降低；

4. 潤滑油應有很好的潤滑性，並能在軸承表面形成一清潔的潤滑油膜(吸收性油膜)，這種油膜可以使軸承得到液體摩擦，並在半液體性摩擦時，保護表面不致過份磨耗；

5. 優良的防銹性；

6. 軸承材料的熔化溫度應比軸承的工作溫度高得多。

由於沒有一種純金屬能具有上列各種特性，因此要得到優良的軸承，便須應用各種合金。直到最近，能完全滿足所有要求而可以應用於引擎軸承材料的減摩合金，祇有高錫基的白合金。後來為了適應某幾種柴油引擎及高速汽油引擎需要，才用銅鉛合金代替高錫基的白合金。除此以外，在許多工業國家中，錫都是進口材料，因此迫切要求為高錫基白合金尋求一種代替品，使材料不需要進口。

能應用於各種引擎結構的萬能的減摩軸承合金，現在還沒有。但在一定的引擎結構及其在一定的工作條件之下，可以選取完全滿意的軸承合金。

在和平建設中的拖拉機製造工業，需要大量的軸承材料，因此在經濟上講來是很重要的。

現在應用得最廣泛的減摩合金有下面幾種：

1. 錫基白合金；
2. 鉛基白合金；
3. 鋁基白合金；
4. 鋇基白合金；
5. 銅鉛合金；
6. 錫基青銅。

在蘇聯拖拉機製造工業中，所有上述合金都在應用，但最基本的是錫基白合金、鉛基白合金及銅鉛合金。

應用於拖拉機引擎軸承的減摩合金，應視曲軸軸頸的硬度、潤滑油品質及引擎的結構特性（軸承單位壓力、滑動速度及工作溫度等等）而定。

當曲軸軸頸硬度正常時（布氏 300 以下），可用錫基、鉛基及鋅基白合金或軟銅鉛合金。當曲軸軸頸硬度較高時，普通用銅鉛合金及高錫基的青銅。

薄壁底壳的軸承，大部用高錫基白合金或銅鉛合金，偶然也用鋅鎳合金。在品質方面講來，鋅鎳合金介於錫基白合金及銅鉛合金之間。

白合金的成分與配製

用於澆鑄軸承的白合金，其組織應為可塑性的基體中應散佈有硬的質點。

依照錫的成分，所有白合金可分為高錫基、低錫基及無錫等三類。

現在應用於拖拉機製造工業中，屬於第一類的有 E-83，屬於第二類的有 BM、BH 及 BT，屬於第三類的有 AH-2.5 合金。

E-83 白合金在拖拉機引擎軸承材料中應推首位，這種白合金在應用中的成績很好，但由於錫的缺乏，以及某些地方需要更高的要求，因此必須尋求 E-83 白合金的代用品。現有的代用品有鉛基白合金 BM、BH 及 BT，銅基合金 AH-2.5 及銅鉛合金。

BM 白合金開始應用於 1933 年；BH 白合金—1939 年；BT 白合金及 AH-2.5 合金—1940 年。在薄壁底壳上，首先應用 E-83 白合金。

各種白合金的化學成分列如表 2。

E-83 白合金的基體是錫，其中平均分佈着硬質的錫銻結晶，此種結晶體成針狀組織。E-83 白合金所具有的硬質成分不會擦傷軸頸，因為錫的基體有緩衝作用，白合金表面的潤滑油，則存儲於硬質結晶的隙縫內。

BM 白合金中的砷能促成細密的結晶組織，鋅則能增加硬度。BM 白合金的主要缺點是太脆。

為了改善 BM 白合金的脆性，研究了一種新型的 BH 白合金，成分

表 2 白合金的化學成分

化學成分, %		白 合 金 牌 號				
		B-88	B-83	BM	BH	BT
基 本	錫	其 餘	其 餘	11~12	9~11	9~22
	鉛	—	—	其 餘	其 餘	其 餘
	銻	7.4	10~12	11~12	13~15	14~16
	銅	3.0	5.5~6.5	1.5~2.0	1.5~2.0	0.7~1.1
	砷	—	—	1.2~1.7	0.5~0.9	0.05~0.2
	鎢	—	—	1.3~1.8	1.25~1.75	—
	鎳	—	—	—	0.75~1.25	—
	磷	—	—	—	—	0.2
雜 質 不超過	鐵	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
	砷	0.1	0.1	—	—	0.3
	鋅	0.03	0.03	0.15	0.15	0.15
	鉛	0.35	0.35	—	—	—
	鎳	0.05	0.05	0.1	0.1	0.1
	總 的 雜 質 不 超 過	0.55	0.55	0.40	0.40	0.60

中增加了 0.75—1.25% 的鎳。BH白合金與BM白合金不同之處，除了加有鎳的成分外，銻略增加，錫及砷略減少。

BT白合金的化學成分與BM及BH白合金相近，與BM白合金不同之處，在以磷代替了鎳及鎢。

磷的作用是當白合金凝固時，能控制結晶體核心的數量及分佈情況，以得到細密的組織。

BT白合金加熱至 220~230°C 保持 3 小時後，減摩性與機械性能都大為增加。

BT白合金的軟基體是鉛錫合金，其硬質成分為錫銻及銅銻的結晶體。BT白合金的特性是在正常澆鑄條件下，其硬質成分比 B-83、BM 及 BH 白合金要軟。

與B-83白合金比較，BM、BH及BT白合金的缺點和所有其他鉛基白合金的缺點一樣，即容易氧化，熔渣增多，澆鑄軸承操作必須嚴密控制，澆鑄軸承工作必須特別小心，以及引擎在運轉過程中必須當心。

AH-2.5合金中含有2.5~3%鋅，其餘為鋁；遠在1940~1941年，車里雅賓斯克拖拉機廠即已應用這種合金澆鑄連桿軸承。這種合金具有很高的強度與可塑性，但欲滿足一個優良軸承材料的條件，則與軸頸的配合必須比鋁基白合金更為緊密，在運轉時也應格外小心。

AH-2.5白合金的主要缺點，是當間隙沒有適當配合或運用中沒有特別留意時就容易咬壞。這種合金的膨脹係數較高，需要很大的間隙，因此也需要增高潤滑油壓力，並須有冷卻裝置。

一般白合金的物理-機械性能與銅鉛合金的比較如表3。

表3 一般白合金與銅鉛合金的物理-機械性能

物理 - 機械性能	合、金 牌 號	白 合 金				銅 鉛 合 金 CB-30
		B-83	BH	BT		
				鑄態	退火	
比例極限 (公斤/公厘 ²)		7.4	8.0	7.1	5.4	
抗壓強度 (公斤/公厘 ²)		11.5	12.7	12.8	11.3	21
100°C時的衝擊強度 (公斤/公分 ²)		0.66	0.39	0.2	0.66	0.89
布氏硬度 (公斤/公厘 ²)	17°C時	30	29	26	21	35
	100°C時	13	14	—	14	26
比重		7.38	9.55	9.7	9.7	9.65
熔化溫度 (°C)	開始熔解	241	245	—	240	250
	完全熔解	364	397	—	400	1000
最高工作溫度 (°C)		100	100	—	100	250

白合金是以特殊方法合成的。由於組成白合金的各種金屬的熔化溫度相差很大，因此在熔製白合金時，不能將組成的金屬簡單地熔化，

否則低熔點的金屬已開始燒壞，而高熔點的金屬尚未溶解。

組成白合金的元素的熔解溫度依次如下：

鈉	97.5°C
錫	232°C
鎳	321°C
鉛	327°C
碲	452°C
鎘	630°C
鋁	636°C
鈾	810°C
砷	830°C
銅	1084°C
鎳	1455°C

爲了避免燒壞低熔點的金屬，不應加入純的高熔點金屬，應製成合金後再加入。這種合金稱爲母合金，應比需要的合金增濃其中任一金屬。當熔製錫基或鉛基白合金時，應先熔製銅鎳合金。含銅 62% 與含鎳 38% 的合金不像純銅那樣要在 1084°C 時才熔解，而在 630°C 就可熔解了。熔製合金時，先熔化銅，然後在木炭覆蓋下熔入鎳。

砷是熔製砷鎳合金時加入的，含砷 20% 與含鎳 80% 的合金，其熔點爲 615°C。

當加入高熔點的銅鎳合金時，可以不必將整個合金加熱至 630°C。配製 BM 白合金可按下述方法進行：取需要配製一定數量白合金的鉛三分之一，在木炭覆蓋下加熱至 500°C。在此溫度下的鉛液中加入相當數量的鎳、銅鎳合金及砷鎳合金，再將其整個加熱至 650°C，並保持此溫度直至鎳及合金完全熔入。然後攪拌並加入其餘三分之二的鉛，此時合金溫度略爲降低。當溫度降至 550°C 左右時，加入鎢及錫，然後再攪拌合金，在 500°C 左右時澆入鑄型。

銅鉛合金的成分與配製

用青銅作優良的軸承材料有兩類——錫基及鉛基，錫基青銅用得

較少，而且僅僅作為銅套之用。

錫基青銅的化學成分很是分歧。一般有代表性的成分如下：錫 13.7%、鉛 0.39%、銅 85.0%、磷 0.09%、鐵 0.11%、鎳 0.96%、鋅 0.96%。這種合金的硬度為布氏 110。用這種合金的軸承軸頸需要有很高的硬度。

銅鉛合金用作拖拉機引擎軸承的材料，已年復一年增加。自 1947 年起，[斯大林-80]型、[КИРОВЕЦ]-35]型及[СТЗ-НАТИ]型等拖拉機以及大多數汽車柴油引擎的曲軸軸承都普遍採用了銅鉛合金。

用於拖拉機軸承的銅鉛合金有兩元合金及多元合金兩類。

兩元合金中除銅外還含有 20~45% 的鉛及少量的(3%以下)其他金屬。

多元合金中含有 65~70% 的銅，少量的錫、鎳及鋅(總數在 10%以下)及 20% 以下的鉛。在合金中的基體是銅；錫可以增加硬度，機械性能及減摩性；鎳可使組織變細，並減少鉛的偏析。

兩元合金僅用以澆鑄於鋼的表面上，多元合金則與錫基青銅一樣，製成為鑲套銅套。多元合金一般配合高硬度的軸頸，此點亦與錫基青銅一樣。

銅鉛合金的組織與白合金不同，銅鉛合金的基體為硬質的銅，其中散佈着軟的鉛粒。

熔化銅鉛合金時，因鉛有偏析傾向(即按比重分層析離)，因此技術問題很複雜。

研究與試驗的結果證明，當銅鉛合金中的含鉛量大於 39% 時，在熔化狀態時為兩種乳狀液的混懸體。這種混懸體從 999°C 冷至 952°C 時，分離為兩層，上層含銅較多，下層含鉛較多。

液體狀態時的初步偏析，在合金繼續冷卻變厚時愈顯著。因此一般銅鉛合金的含鉛量都在 39% 以下。但含鉛量太少，會使合金變硬而又脆，不但影響了機械性能，並加速了曲軸軸頸的磨損。現在最好的銅鉛合金，其含鉛量為 25~35%。含鉛量在 39% 以下的合金，在熔化狀態時不致偏析，而是一種熔液，當冷卻時析出銅的結晶。但在銅結晶析出

過程中，所餘熔液中的含鉛量便增加，一當熔液中的含鉛量達 39% 時，合金便又偏析為兩層乳狀液。

總之，即使減少合金中含鉛量，仍然不能完全避免合金熔液的偏析。但合金中的含鉛量愈低，則在合金餘留熔液中的含鉛量達 39% 以前，銅結晶析出愈多。因此偏析為乳狀液層的部分愈少。

影響銅鉛合金偏析的第二個因素是溫度，合金的結晶情況視溫度而不同。

在銅鉛合金中 (CB-30 合金)，銅在 $1000\sim 950^{\circ}\text{C}$ 時結晶，而鉛要到 326°C 時才開始結晶。因此除偏析以外，合金熔液在冷卻的較長時間中，為一種含鉛量極高的熔液，其中漂浮著硬質的純銅結晶。

因為鉛的比重為 11.34，而銅的比重為 8.93，所以當合金自 1000°C 冷卻至 300°C 時，偏析現象很是劇烈，很多輕的硬質銅結晶昇至表面。

銅鉛合金的偏析有層次偏析、組織偏析與逆偏析三種。

層次的偏析，使合金熔液按機械性能分層，即按鉛與銅的比重不同而分層。因此當銅套冷卻時，就形成不均的合金，銅套的上層銅多，而下層鉛多。

組織的偏析，使合金當冷卻時在所有切面上都生成很大的鉛粒。這種偏析是當合金從 950°C 開始緩慢地冷卻至 300°C 時發生，這時銅結晶已生成，而鉛尚在熔解狀態。

銅結晶在合金自 1000°C 冷卻至 950°C 時，從合金熔液中析出。繼續冷卻時，這些結晶形成網狀組織，其孔隙中則儲藏着鉛熔液。

逆偏析，使合金表面的鉛重行分佈。當合金自 950°C 緩慢地冷卻時，鉛熔液內包著銅結晶的網絡，並壓縮銅網絡的體積。

為了避免這三種偏析，合金在冷卻以前應充分攪拌，並加快冷卻，使合金從 1000°C 開始在很短的時間內冷至 300°C 。此外，為了避免銅鉛合金的偏析現象，在合金中須加入某些元素以阻止其偏析並改善其機械性能及減摩性。此類元素有磷、硫、鎳、鎢、錒及銀。

磷的含量應為 $0.1\sim 0.2\%$ 。合金中如含磷量較高，反會增加偏析。磷可以增加熔融的銅鉛合金的流動性，合金的強度及可鑄性也可增加。

磷能使合金的組織更軟而均勻，因此減低了摩擦係數，增加了合金的耐磨性。

鎳能阻止合金的偏析。當含鎳量為 2.5% 時，熔融合金的偏析幾乎全部停止。鎳可以改善合金的機械性能，特別是可塑性。但鎳會減低合金的鑄造性，使合金的熔點增高。

鎢能使合金組織較為緻密，並減低合金的摩擦係數，增加其耐磨性。鎢對合金的機械性能及鑄造性影響不大。

合金中加入少量的錒，就能顯著地改善合金的減摩性。但錒會減低合金的衝擊強度，因此其加入量不得超過 0.5%。銀能够改善合金的熱傳導性，其加入量約為 0.5%。

有許多元素如加入銅鉛合金中，會起相反的作用。此類元素為鐵、鋅、鋁、錳及錒。因為鐵對銅鉛合金的性質很有害，但鐵易溶於銅，所以合金不允許在鐵坩堝內熔化。

銅鉛合金中加入各種合金後，常會引起各種複雜的技術過程，合金的成本也將增加。因此在我們廠中（按作者為白俄羅斯科學院農具機械研究所工學士——譯者），現在用於曲軸及連桿軸承的銅套是用 CB-30 兩元銅鉛合金，合金中含銅 70%，鉛 30%，並加有 0.1~0.2% 的磷。

斯大林拖拉機工廠用於澆鑄銅套的銅鉛合金，是由特別單獨的鑄工場配製。為了避免偏析，每次配製的合金不超過 50~60 公斤。

配製合金的成分為：鉛 33~34.5%、磷 0.06~0.14%、鐵 0.2%，其餘為銅。銅用電解銅，牌號為 M-1（蘇聯國家標準 ГОСТ 859-41 中規定含銅量不低於 99.9%——編者）；鉛用精煉鉛，牌號為 CO、CB 及 C1（蘇聯國家標準 ГОСТ 3778-47 中規定，含鉛量不低於：CO-99.99%，CB-99.994%，C1-99.98%——編者）；磷用磷銅，內含磷 10~12%。

在配製合金時，先將需要的銅裝於石墨坩堝內，撒上木炭末（避免熔化及氧化損失），置於已燃燒的爐中，並將爐溫提高到 1300°C。

然後將坩堝自爐中取出，倒入已熔化的鉛液，同時加入一半磷銅。經過攪拌以後，撒上木炭末，將坩堝放回到爐中，並使合金溫度提高到 1150~1200°C。然後自爐中取出坩堝，加入另一半磷銅，用石墨棒徹底