

三活叶技术資料三

总 号: 327

热 加 工: 107

内部資料 注意保存

鑄造鋼背鋁基軸承的鋼—鋁 接合工艺的研究

第一机械工业部新技术先进经验
宣传推广联合办公室

1965.12

內 容 提 要

利用离心铸造的方法,将铝合金浇在钢壳上,使钢—铝牢固接合。在此研究中进行了各种工艺参数对接合的影响的試驗,探討了采用几种合金預热的效果。最后选定了钢壳浸錫、純鋁預热的离心鍍鋁工艺。与此同时,还設計了接合强度測定裝置,进行了多次的装車試驗,并经过生产性的試驗。

文中还对双金属接合进行了討論,认为此一工艺可以用于生产实际。

目 录

(一)前言	(1)
(二)試驗部分	(2)
(三)討論	(15)
(四)铸造钢—铝双金属的技术经济效果	(20)
(五)結論	(21)

参考文献

附录 铁—鋁熔合預热、鋅合金預热、浸錫后純鋁預热等接合强度試驗数据記錄。

鑄造鋼背鋁基軸承的鋼—鋁 接合工藝的研究

材料保護與熱處理研究所 黃仲杰 羅永亨

一、前 言

企圖用鋁合金作內燃機的曲軸—連接軸承始於1928年，此後世界各國相繼進行過大量的研究。但是，由於單金屬鋁軸承的剛性不足，因而長期以來不能廣泛採用，於是研究把鋁合金牢固地接合在鋼制的背殼上的雙合金工藝便為大家所注意。

目前，為大家所研究的方法有兩種。一種是雙金屬軋制的方法，另一種是鑄造的方法。前一種適合於大批量的生產，能夠充分利用金屬，成本較低，是生產平板瓦最合理的工藝之一。但是，對現有配件廠來說，必須增添壓延設備，重新組織生產序列；另外對於套筒，翻邊止推軸瓦，多型號、多程式的尺寸控制都是比較難解決的問題。後一種方法適合成批或單件生產，可以利用工廠現有設備即可投入生產，彌補了前一種方法較難解決的多型號、多程式……等問題。但在產量，成本，利用金屬率方面則不及前者。此兩種方法解決了大量使用鋁合金的問題，而其相互之間又互為補用，是不可缺的，因而對鋼—鋁接合的研究就佔着極其重要的位置。

在國外，鋼—鋁雙金屬的軋制工藝可以說明基本上解決了，在往來的文獻上都可找到其製造工藝〔1、35、36〕，但仍存在着某些問題。至於鑄造法，儘管二次世界大戰時期的德國和戰後的美國曾採用“Al—Finprocess”來澆注鋼—鋁雙金屬，但是其主要工藝參數未列入有關文獻〔2〕。據Н. А. Буше〔3〕提到美國750合金時，認為該合金是澆在用銀作中間層的鋼殼上，使鋼—鋁接合。Б. И. Гостед和Ю. Я. Зильбфг〔4〕甚至認為西德的“Al—Finprocess”至今仍然是不經濟的。

在苏联，对钢—铝铸造接合的研究不少，А. Д. Курпцына [5] 曾用熔剂，锌合金、铝合金的中间层来改进钢—铝接合，可是其接合强度未能令人满意。В. К. Петриченко [6] 在其“轴承材料及其制造”一表中曾断言：铸造钢背铝基轴承，仅在有机铸合的情况下才可能。1962年苏联交通部研究院与其它机关 [7] 又对铸造法进行了研究。可是，直到现在还未见到其生产的报导。

关于钢—铝的接合在加拿大的专利中也有记录 [8]，可是这仅仅是作为被复用，并非作发动机轴承用。在日本 [9]，也把铸造钢—铝接合作为今后研究铝基轴承的一个方向。

基于上述，可以断言：铸造钢背铝基轴承的钢—铝接合在国外没有得到广泛应用。因此要解决这一问题就必须根据我国的具体情况，以自力更生的精神来解决。

于是，根据科学技术发展规划的要求和我国配件厂的现有生产装备的条件，本着节约用铜这一精神，展开了铸造钢—铝接合的研究，除了实验室的试验之外，1962年底~1963年初，在武汉汽车配件厂进行过两次生产性试验，并曾陆续地将实验室及工厂浇出的轴承进行多次装车试验。

在进行钢—铝铸造接合的过程中，曾得到中南矿冶学院马恒儒教授的指导。湖北省汽车运输管理局武昌修理厂，汽车工队，汉口保养场在装车、运转等方面；武汉汽车配件厂在生产试验等方面，曾提供条件给我们很大的支持和帮助。

二、试验部分

1. 一般的概念

铸造双金属，包括钢—铝双金属，其接合的实质是焊合（扩散）。焊合的好坏决定于熔融金属与钢壳接触的时间以及钢壳的温度等因素。

P. G. Fornerster 等 [10] 在作锡基轴承合金与钢的粘结试验及认为：锡和铁之间的接合应该是由 α （铁基固溶体）—— FeSn — FeSn_2 — Sn 所组成。实际上，只有 FeSn_2 在热浸锡的接合处是可见的。在其试验中，锡合金与钢接合时同样保持有这一现象。 FeSn_2 中间层的厚薄与热浸锡

的溫度及浸入的時間有關。

К. И. Вашенко [11]在作鐵—鋁雙金屬铸件時，把鐵件放在熔融的鋁液中6分鐘，取出，在表面未凝固之時澆以鋁合金，鐵—鋁之間是擴散聯系。過渡層與浴池溫度、浸入時間有關，其厚度在0.015~0.040毫米之間變動。

А. Д. Курпцына [5]在尋求鋼—鋁雙金屬鑄造方法時認為：當把鐵浸在熔融的鋁中，該兩金屬的接觸表面上就發生鐵溶于鋁中，隨着形成 Al_3Fe ；此化合物形成之後，就發生其向鐵里擴散，並在鐵里形成化學化合物的固溶體 Al_3Fe 。

因此，兩種金屬（固體—固體或固體—液體）在一塊，只要有足夠的時間和一定的溫度，必然發生擴散。使某一金屬附着于另一金屬之上。

2. 探索試驗

在國外，為了生產鐵—鋁雙金屬（ферран），經雙金屬軋合之後，只能在 $500^{\circ}C$ 以下的溫度進行冷作硬化處理，超過此一溫度，鐵—鋁接合處將產生一層硬、脆的 Al_3Fe 中間層，嚴重地使其成為廢品[12]。

А. Д. Курпцына [5]在尋求鐵—鋁的鑄造方法時認為：鋼—鋁之間易于生成一層硬、脆的 Al_3Fe 中間層，即使這層中間層很薄，其脆性仍然不變。

似乎可以認為：要使鋼—鋁鑄造接合，必須防止 Al_3Fe 中間層的生成。

鋁的膨脹系數大約為鋼的一倍，因此，在鋼—鋁雙金屬铸件的冷卻過程中，不良的冷卻方式使铸件存在着很大的內應力，尤其是鋼—鋁的接合處，嚴重的甚至可以使其完全分離。

防止雙金屬铸件分離應給予適當的冷卻方式。

因此，要解決鋼—鋁鑄造接合，必須避免鋼—鋁直接接觸，以防止 Al_3Fe 的生成。澆注後的雙金屬件給予適當的冷卻，使其應力最小，接合強度最大。因此在“第一階段試驗”[13]中進行了如下試驗：

甲、去油的鋼殼，浸錫，澆以鋁合金，离心鑄造；

乙、去油的鋼殼，浸鋅，离心澆注鋁合金；

丙、去油的鋼殼，鍍鋅，离心澆注鋁合金；

丁、去油的钢壳，鍍銅，离心浇注鋁合金；

戊、去油的钢壳，鍍鋅，在模型中浇以鋁合金；

己、去油的钢壳，鍍銅，在模型中浇以鋁；

庚、去油的钢壳，浸錫，鋅及其合金，在模型中浇以鋁合金；

辛、去油的钢片，在 700°C 的一价銅中浸鍍，然后浇以鋁合金[14]。

上述各項除A項外，其余各項存在着鍍层預热时的保护，技术安全及成本等問題，因而未能得到令人滿意的接合效果。

甲項的具体工艺为：

钢壳的处理：試驗用钢壳外径75毫米，內径69.5毫米，高50毫米。将钢壳放在煮沸了的10%的NaOH溶液中，煮30分钟，取出，然后再在煮沸了的清水中煮30分钟，取出，用浓盐酸刷洗再用冷水冲洗。水膜是否复盖钢表面，作为去油是否完全的检查，如不清洁，再从头开始。清洁了的钢壳再用浓盐酸洗一下，晾干，擦以饱和的氯化鋅溶液（将金属鋅溶在比重1.17~1.19的浓盐酸中），作为浸錫熔剂用。

浸錫：清洁了的钢壳在 $290-325^{\circ}\text{C}$ 的純錫熔液中浸鍍，使钢壳內表面均匀复着一层錫液为止。趁热将钢壳置于离心机夹头中。

浇注，采用730鋁合金[15]，其浇注温度为 750°C ， $\pm 20^{\circ}\text{C}$ 。

冷却：曾采用自来水冷、雾状水冷，压缩空气冷及自然冷等。

轉数：根据B. K. Петрияенко [16]的数据，暫定为1500轉/分。

浇注出的双金属，从铸件上截取小块試样，在拉力試驗机中測定接合强度，其断裂不在接合面而在鋁合金中，但有些試样的强度只有2公斤/毫米²。雾状水冷及压缩空气冷均可获得較好的結果。其上限超过了美国“AI—Finprocess”的最高值——4.22公斤/毫米²（6000磅/吋²）[17]，于是认定有进一步試驗之必要。

3. 几种主要参数对接合强度的影响[18]

根据探索試驗指出，應該以浸錫钢壳作离心浇注鋁合金，并以钢—鋁之間的接合强度作指标来选择铸造中的主要参数。由于钢—鋁双金属接合的实质是焊合，其好坏又决定于钢壳与另一金属接触的时间及温度，至此，温度是一个极其重要的因素。在我們的試驗中，因采用錫作中間层，以致其温度受到了一定限制，故拟以提高浇注鋁合金的温度来弥补。

其次，在离心铸造时，模型旋轉的速度是确定离心铸件的质量的主要因素之一，它可以决定铸件的紧密程度、机械强度，沿径向断面成分的均一性，从外表面向内表面清除渣子的程度以及铸件自由表面形状的正确程度等。如何确定离心铸造的轉数，以及此轉数与接合强度的关系，作为铸造双金属主要参数之一来选择。

由于鋁合金与钢的膨胀系数相差太大，适当的冷却速度将会得到接合牢固的双金属件，而不至于膨胀系数相差太大而使其不能接合或接合不牢。故以接合强度来选取最为适当的冷却方式。

甲，为了弥补钢壳浸錫温度与鋁合金熔点之間較大的差异，以提高浇注鋁合金的温度，使钢壳温差得到补偿，从而牢固接合。因此将鋁合金的浇注温度定为：700、750、800、850、900、950°C；浇入730鋁合金的数量为50、70、100厘米³。

(乙)离心铸造用钢壳外径74毫米，内径68.5毫米，长60毫米。根据离心铸造原理[19]，求得不同的下述轉数：

按 Л. С. Канстинов [20]公式計算得：

$$n=1770 \text{ 轉/分；}$$

在試驗过程中实际測得 $n=1640 \text{ 轉/分。}$

按 Каммен [21]公式計算得：

$$n=1962 \text{ 轉/分}(K=3500 \text{ 吋})$$

实际測得的轉数 $n=1800 \text{ 轉/分；}$

$$n=1421 \text{ 轉/分}(K=2600 \text{ 吋})$$

实际測得的轉数 $n=1425 \text{ 轉/分。}$

按 В. К. Петриченко[22]公式計算得：

$$n=2105 \text{ 轉/分，}$$

实际測得的轉数 $n=2000 \text{ 轉/分。}$

(丙)在探索試驗中发现压缩空气冷却尚令人滿意，因此在选择工艺参数时給定两种不同的冷却方式：一种是压缩空气冷，气流速度0.0367米³/分，冷却三分钟。另一种是雾状水冷，水的压力为100磅/吋²，水速30~49厘米³/分，冷却两分钟。

(丁)接合强度：钢—鋁之間的接合强度的高低是判断接合牢固最有

效的方法之一。但是測定雙金屬的接合強度却不是一件容易的事情，尤其是作軸承雙金屬的接合強度測定時更是困難，至今尚未找到一套絕對可靠的完整的方法。在這方面我們也在探索，原來在探索試驗中曾在铸件上直接截取一小塊、約 2×5 毫米² 面積的試樣在拉力試驗機上測試。由於試樣面積太小，長度亦很短（約 5 毫米），很難夾持；雙金屬結合面就更難與受力方向垂直，因之得數也就不易準確。

既要保證得數準確、可靠，就必須使測試方法設計合理，還要保持雙金屬澆注工藝的影響因素，得出的數值才具有代表性。因此採用圖 1 的方法來測試。

鋼殼去油後、浸錫（與探索試驗方法同）。銷子 1 用低碳鋼做成，經鹼性發藍使其表面生一層氧化物；將 $\phi 6.35$ 毫米的端面用細砂紙拋光，磨掉氧化層；然後在該頸部纏上一兩層紙，使與鋼殼的銷孔配合。 $\phi 10$ 毫米的頸部鑽有 $\phi 2$ 的通孔，逐個用鐵絲穿過此孔纏牢銷子於鋼殼上。再將此鋼殼塗以飽和的氯化鋅溶液，浸錫；離心澆鋁合金。

澆好的雙金屬套筒，取下纏牢銷子的鐵絲，在拉力試驗機中將銷子自澆了鋁合金的鋼殼上拔除，按鋼—鋁接合處的面積計算強度，為鋼—鋁的接合強度。

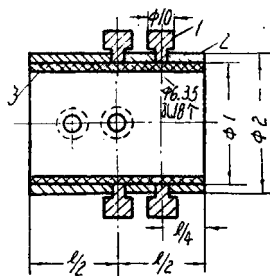


圖 1 測定鑄造鋼背鋁基軸承接合強度的裝置：

- 1—銷子；
- 2—鋼殼；
- 3—鋁合金。

試驗結果指出：

(1) 不同的離心鑄造轉數，對接合強度沒有明顯的影響，其強度處於 4 ~ 10 公斤/毫米² 之間。

(2) 用霧狀水冷，水压 100 磅/吋²，水速 30 ~ 39 厘米³/分，冷卻兩分鐘，鋼—鋁的接合強度大都在 4 ~ 10 公斤/毫米² 之間。

用壓力為 125 磅/吋²，風速為 0.006 米³/秒，冷卻三分鐘，鋼—鋁接合強度為 4 ~ 10 公斤/毫米²。

(3) 澆注溫度為 700 ~ 750 °C 時，即使澆入 100 厘米³ 的鋁合金，也无法使

得钢—铝接合。

当浇注温度为800°C时，浇入的合金必须多于200克时，钢—铝的接合强度才处于4~8公斤/毫米²。

浇注温度为850°C时，浇入合金必须大于185克，钢—铝接合强度处于4~9公斤/毫米²。

浇注温度为900°C时，浇入铝合金在170克以上时，钢—铝的接合强度处于4~9公斤/毫米²。

浇注温度为950°C时，浇入铝合金在150克以上时，钢—铝的接合强度处于4~10公斤/毫米²。

(丙)为了证实离心铸造轉数、冷却速度、浇注温度等上述参数对接合强度的影响，以固定的轉数，不同内外径、长短的钢壳，以同一冷却速度冷却，再按图1的接合强度测定方法来检查其接合情况，曾进行如下試驗[23]：

試驗钢壳尺寸见表1。

表1 钢壳尺寸

編 号	φ1毫米	φ2毫米	l 毫米	备 注
1	63	68.3	60	ТИЗ150連杆
2	67.8	73.3	60	ТИЗ150曲軸
3	60.6	66.8	60	道奇T234連杆
4	78.087	84.108	67	道奇T234曲杆
5	65	70.1	60	6—8HP柴油机連杆
6	78	85.8	60	1KaruS 連杆
7	55.7	59.9	61	道奇T118連杆
8	63.1	70.2	50	道奇T118曲軸
9	54.1	57.8	60	道奇T214連杆
10	60.4	65.4	67	GMC連杆
11	71.7	76.8	60	GMC曲軸

去了油的钢壳(方法与探索試驗同)，在330±10°C之間浸錫，用940±20°C的730 鋁合金作离心铸造，并用压缩空气冷却1分钟。离心机轉数采用1800轉/分。

試驗用鋼壳11个，作接合强度用銷子88个。接合强度值与所占銷子百分数列于表2。

表2 接合强度值与所占銷子数及百分数

接 合 强 度 (公斤/毫米 ²)	銷 子 数(个)	百 分 数(%)
4.22以下的	7	8
4.22~5	4	4.5
5~6	11	12.5
6~7	25	28
7以上的	41	47

注：至于具体数值見附录表1。

4. 用复合盐和鋅合金預热[24]

在上述試驗中从接合强度的比較——比“*Ai—FIn Process*”——看来，鋼—鋁的接合是比較牢固的。但是也还存在着某些缺点，例如浸錫的溫度仅限于350°C之内，超过此一溫度錫液表面逐步氧化，是不利于接合的。为了使浇注在鋼壳中的鋁合金能够自由流动，必須使鋁合金在离心浇注的某一時間内保持液体状态。要鋁合金保持液体状态，就必须提高其浇注溫度，以弥补預热溫度不足，尤其是原壁鋼壳的浇注，就更为必要，否則鋼—鋁将不能接合。提高浇注溫度不可免地将使鋁合金吸收气体，因而在铸件中带有大量的針孔或气孔，尤其是超过正常浇注溫度很高的时候更为严重。为了弥补預热溫度之不足，最有效的办法还是提高預热溫度。曾进行如下試驗：

(甲)浸了錫的鋼壳，在700~750°C的下述盐中預热，然后用730鋁合金离心铸造。

$\left\{ \begin{array}{ll} \text{KCl} & 47\% \\ \text{NaCl} & 35\% \\ \text{Na}_3\text{AlF}_6 & 12\% \\ \text{AlF}_3 & 6\% (25) \end{array} \right.$	或	$\left\{ \begin{array}{ll} \text{KCl} & 50\% \\ \text{NaCl} & 37\% \\ \text{Na}_3\text{AlF}_6 & 12.5\% \\ \text{AlF}_3 & 0.5\% (26) \end{array} \right.$
--	---	--

(乙)浸了錫的鋼壳，在700°C的鋅合金——Sn10%，Al0.5%。其

余为鋅——中預热[27]，然后用鋁合金离心浇注。

在离心铸造过程中，采用雾状水冷却和压缩空气冷却。

用熔盐預热的钢壳6个，作接合强度用銷子42个。接合强度值与所占銷子百分数列于表3。（其詳細情况見附录表2）。

表3 接合强度值与所占銷子数及百分数

接 合 强 度 (公斤/毫米 ²)	銷 子 数(个)	百 分 数(%)
4.22以下	5	12
4.22~5.00	5	12
5~6	5	12
6~7	3	7
7以上	24	57

用鋅合金預热的钢壳3个，作接合强度用銷子21个。接合强度值与所占銷子百分数列于表4。（其詳細数值見附录表3）。

表4 接合强度值与所占銷子数及百分数

接 合 强 度 (公斤/毫米 ²)	銷 子 数(个)	百 分 数(%)
4.22以下	9	43
4.22~5.00	3	14
5~6	4	19
6~7	2	10
7以上	3	14

5. 先浸錫、再用純鋁預热

用熔盐或鋅合金預热虽然得到钢—鋁接合，但是实验室的设备太小，熔盐的热量容易散失，溫度不易保持；以及熔盐腐蝕铁质鉗鍋，产生熔渣，此熔渣常常粘附在钢壳內表面，当离心浇注鋁合金时，此熔渣未被冲起，因而使钢—鋁未能接合好。鋅合金虽可使钢—鋁接合，但其接合强度尚偏低，且亦发现接合处有污染。

不管是浸錫后浇鋁合金，或浸錫之后，用熔盐或鋅合金預热，再浇鋁合金，都不可避免地鋼—鋁之間形成一层中間层，此中間层的区别在于厚薄，其强度显然未受到影响。

因此用鋼壳浸錫，純鋁預热，离心浇注鋁合金来使鋼—鋁接合，曾作如下試驗：

鋼壳的去油处理同前。

鋼壳浸錫：去了油的鋼壳浸入 $320\sim 350^{\circ}\text{C}$ 之間的、含錫 90% 以上的錫液中，使鋼壳內表面均匀复着一层錫液。

預热：浸了錫的鋼壳，用箝夹持外表面浸入 $680\sim 700^{\circ}\text{C}$ 的純鋁溶液中，使鋼壳达到鋁浴溫度时即行取出，置于离心机夹头中。

浇注：用 730 或 XA750 合金，在 $720\pm 10^{\circ}\text{C}$ 下，按前述公式計算离心机轉数，作离心铸造。

浇注錫合金后，即刻用雾状水冷却，直到鋼壳冷至室溫为止。

試样与图 1 同。

此試驗共作了鋼壳 8 个，接合强度用銷子 64 个。其强度值与所占銷子百分数列于表 5（有关表 5 的詳細情况見附录表 4）。

表 5 接合强度值与所占銷子数及百分数

接 合 强 度 (公斤/毫米 ²)	銷 子 数(个)	百 分 数(%)
4.22以下	4	6
4.22~5.00	5	8
5.01~6.00	6	9.5
6.01~7.00	6	9.5
7.01以上	43	67

6. 生产性的試驗

1962年底~1963年初，曾在武汉汽車配件厂作生产性的試驗。利用該厂銅—鋁轴承的生产設備。其过程如下：

15# 鋼做的鋼壳，按該厂白合金轴承鋼壳去油方法，即将鋼壳放在浓盐酸中浸泡，約 3~5 分钟后取出；置于铁板上，下面用火燒，直至

鋼壳已干并生出白色斑点为止。冷却之后，用饱和 $ZnCl_2$ 溶液刷洗鋼壳內表面，然后在 $350^\circ C$ 的錫液中浸錫。

浸了錫的鋼壳，在 $680\sim 700^\circ C$ 的純鋁中預熱 $0.5\sim 2$ 分鐘取出，置于离心机夾頭中；然后用 $680\sim 720^\circ C$ 的 730 鋁合金澆注。并用霧狀水冷却 $1\sim 3$ 分鐘，再用自來水激冷，直至室溫為止。

离心机轉數為 1880 轉/分。

該廠測得此鋼—鋁的接合剪強度為 8.66、7.36、9.27 公斤/毫米² [35]。

試驗的毛坯經加工后，按軸承規範檢查，完好的 44%，夾渣（可用的）24%，其余的報廢。

上述合格的軸承進行好幾次裝車試驗，情況都很好。

此軸承系 D—350 柴油機連杆大頭用。鋼壳長 60 毫米，外徑 85.8 毫米，內徑 78 毫米。

7. 鋼—鋁之間的中間層

在上述各種工藝試驗中，都發現在鋼—鋁之間有着一層中間層此中間層的硬度為 $H_v=665\sim 955$ 公斤/毫米²。隨着鋼壳的預熱溫度的增高，此中間層亦增厚。其厚度在 $0.0154\sim 0.03465$ 毫米之間。

如果用浸了錫的鋼壳，离心注以鋁合金，所得的鋼—鋁雙金屬。此雙金屬的中間層硬度 $H_v=665\sim 708$ 公斤/毫米²。其厚度為 $0.0154\sim 0.0193$ 毫米。如圖 2 所示。

圖 3 是用浸了錫的鋼壳，再用純鋁預熱，然后离心澆以鋁合金而得到的鋼—鋁接合的金相照片。圖中有印痕的為中間層，上方為鋼壳，下方為鋁合金。中間層的硬度 $H_v=870\sim 955$ 公斤/毫米²。厚度為 $0.02695\sim 0.03465$ 毫米。

不管是用哪一種工藝，鋼—鋁中間層的硬度都高于鋼壳的。因此可以認為此中間層是較硬的。

從圖 2、3 的中間層硬度印痕即可看出：印痕的尖角有裂紋，尤其是增加打硬度的負荷時更明顯。因此也可以認為此中間層是脆性的。

8. 運轉試驗

實驗室的試驗及使用試驗是研究過程必經之道，軸承用鑄造鋼—鋁

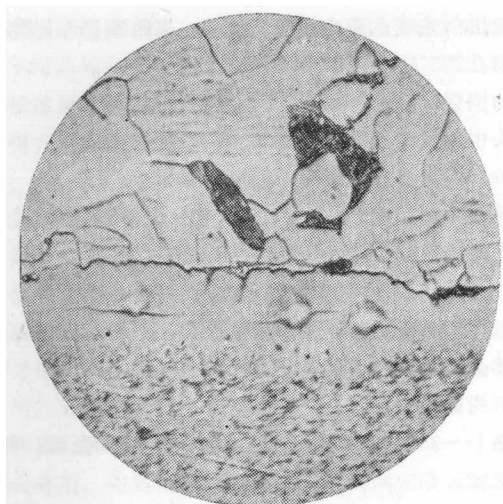


图2 3%硝酸酒精溶液腐蚀×800。

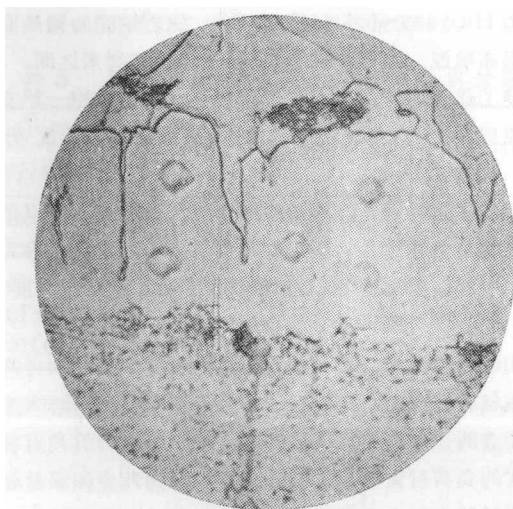


图3 3%硝酸酒精溶液腐蚀×800。

双金属也不例外。为了考查接合工艺是否过硬，装车使用是最可靠的办法。

使用试验分为两类：一类是将实验刻出的试样(轴承)进行装车考核；一类是将工厂生产性试验制出的试样装车考核。

(甲)实验室试样装车试验

1958~1963年曾两度将实验室制出的轴承装在汽车发动机、柴油机(28、29)的连杆大头，作道路试验及耐久试验。试验情况见表6。

表6 轴承试车情况

试验方法	发动机工作的小时或公里数	备 注
Ded Pe T110发动机的全部连杆大头及主轴承	31200公里	由于缸盖破坏而大修。轴承双金属粘合牢固，没有变更。
4160柴油机第二道连杆大头耐久试车	1000小时	轴承完好如初，双金属粘合牢固。

图4 是经柴油机1,000小时耐久试车后的轴承。

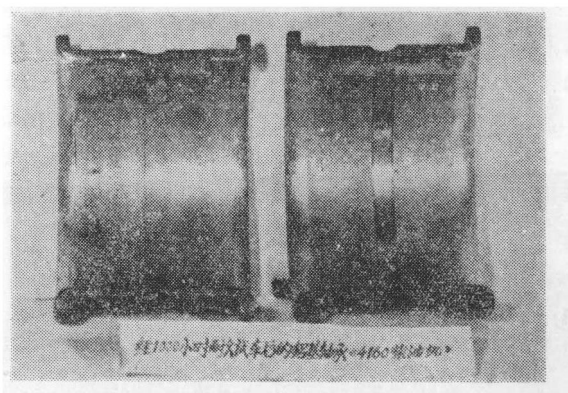


图4 经1000小时耐久试车后的钢—铝轴承。

(乙)工厂生产性试验的试样装车试验

1962年底至1963年初，我們在武汉汽車配件厂做生产性試驗，將浇出的軸承于1963~1964年作长期的装車試驗，其情况見表7。

表7 軸承装車使用情况

試 驗 方 法	发动机工 作期公里	备 注
Steyr 柴油机二、三道連杆大头軸承。道路試驗。	35210	粘合牢固，质量未变
Ikarus 柴油机一、三、四、六各道連杆大头，市内道路試驗。	58000	同 上
Steyr 柴油机全部連杆大头軸承。市外道路試驗。	49390	同 上

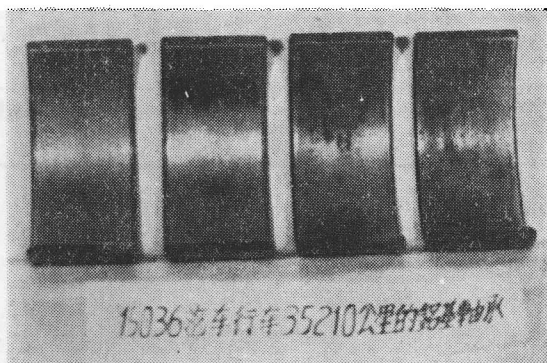


图5
经 35210
公里行車
后的軸
承。

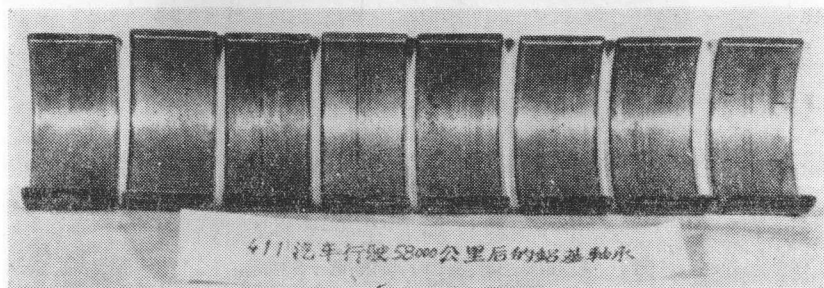


图6 经58000公里行車后的軸承。

試驗后的情况如图 5、6、7 所示。

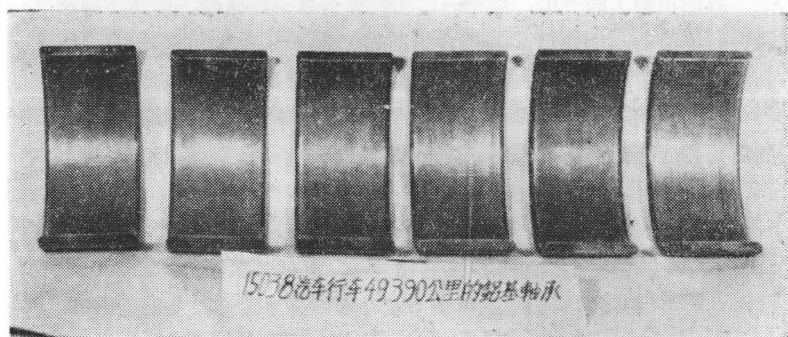


图 7 经49390公里行車后的軸承。

三、討 論

1. 鋼—鋁接合的機械強度。

測定雙金屬的接合的機械強度，要像測定金属材料硬度一樣，似乎還沒有一個統一的标准和方法；尤其是各種各樣的雙金屬零件，由於零件形狀，製造方法等的限制，測定其機械強度就更為困難了。

作為軸承雙金屬，其接合的機械強度究竟需要多大，才算符合軸承的需要。這個問題也還沒有解決。一般地認為：雙金屬間的接合的機械強度必須高於雙金屬中最低強度的金屬的強度。這樣的雙金屬，其接合才是牢固的。

因此要評定鋼—鋁雙金屬的接合的機械強度只能根據同類型的接合試樣，用不同的測定方法所得的數值來加以比較；或同一種零件、同一或不同一種測定方法所得的數值來比較，這樣做是比較合理的。

根據 M. G. Whitfield and V. Sheshnopp [17] 在用 “AI—Fin Process” 做出的鋼—鋁雙金屬，直接在铸件上截取試樣做接合強度，其抗拉強度為 6,000 磅/吋²，合 4.22 公斤/毫米²。

P. G. Forrester 等人 [10] 在做鋼—巴比特的粘結試驗中，採用 Chaimero 法做強度試驗，其接合強度在 0.7~5.3 噸/吋²之間，即相當