

圖14 錫鉛系的比电阻和傳導性

圖 15 表示錫鉛合金在苛性鉀、氰化鉀、氫氟酸中的腐蝕速度。上圖的曲線表明，合金 50/50 不管在冷的或熱的苛性鉀溶液中，腐蝕均很緩慢。在氰化鉀中處理時（下圖），腐蝕速度漸漸隨增加的鉛含量而下降。據台曼的意思，在氫氟酸腐蝕的情況下，當錫含量多於 15% 時，鉛中便形成劇烈的抗阻性，換句話說，就是不會再產生酸蝕；冷延性的鉛到變成酸蝕的了。

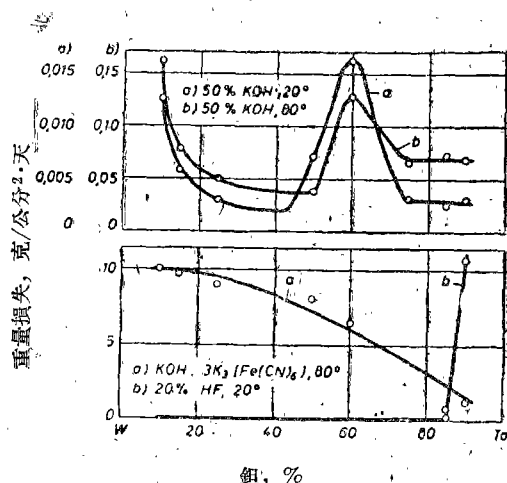


圖15 錫鉛合金的腐蝕狀態

結 論

關於高熔點錫的重要性和在週期表中的位置已經討論過了。含 IVa—VIIa 組中的幾種金屬的錫合金也分別討論了。

本文根據參考文獻，報導了鈦、鋳和鉻系中關於錫的某些定性試驗。合金添加元素為 1 至 10%。

重新研究了錫鉛系，並求得了熔解曲線和點陣常數。同時也進一步研究了錫銻系和錫鋅系，從而準確地測定了合金的工藝性能，如密度、硬度、比电阻和腐蝕狀態。

史常仁譯自“Z. Metallkunde”1958年1期18頁

粉末冶金製造鋁基材料

大家知道粉末冶金在近 20 年中所經歷的巨大發展，一直忽視了鋁這樣一種重要的材料。如果瀏覽許多現有的關於粉末冶金的書籍，便會發現，很少論及到鋁或者根本就沒有這方面的敘述。因此，使人含混不清，認為鋁似乎不宜用於粉末冶金。鋁粉的直接使用事實上是困難的，因而鋁只能作為合金元素用於燒結材料，如加入燒結磁鐵中。這些困難在於，鋁單一的粉末微粒被細密的氧化膜包復所致，故阻碍或難於燒結在一起。如上所述，通過鋁粉的冷壓和下述的燒結來製造鋁燒結體並不是沒有問題的。

我們在燒結鋁方面的發展工作，是由研究軸承材料開始的。在 1943 年曾作過這方面的報導，認為鋁是可以用來製造所需要的燒結體的。

後來，我們又致力於新的粉末冶金加工方法的研究，不過，這些方法與普通的冷擠壓方法以及下述的燒結方法是不大相同的，基本上牽涉到熱變形的概念。關於采

用這種方法的可能性，我們早已報導過。我們的第一次試驗是用鐵粉進行的，隨後又用同樣的方法成功地對鋁粉進行了相同的試驗。

粉末冶金加工鋁的可能性 表 1

| 擠壓 | 軋制 |
|----------|---------|
| 1. 原材料 | 1. 擠壓斷面 |
| a. 松弛的粉末 | 2. 粉末 |
| b. 冷壓件 | · 压制 |
| 2. 压制方法 | 1. 擠壓斷面 |
| a. 簡單的 | 2. 冷壓件 |
| b. 連續擠壓 | 3. 松弛粉末 |
| 鍛壓 | |
| 1. 擠壓斷面 | |
| 2. 冷壓件 | |
| 3. 松弛粉末 | |

首先要強調的是，下面所談的方法不能與一般叫做

热压缩或热压的方法混为一谈；因为后者要在高温下压制，显然是与冷压截然不同的。自从 F. 沙乌尔瓦尔特进行基础研究以来，人们知道，重金属在高温下随同烧结而同时进行压制，固然是因为重金属不是在一次较大的范围内进行热压，但是，压模和粉末可以在保护气体中加热，应用承力敏感的石墨模是很缓慢的，同时也不经济。下面论述的热变形方法将能避免这些缺点。关于可以应用于铝的这些方法，我们把它归纳起来，分头叙述于表 1。

挤 压

R. 其夫尔等人，曾于 1944 年讨论了冷压件的挤压，其次也谈到了铝。但关于金属粉末的挤压至今还很少有人知道。特别是 F. 沙乌尔瓦尔特又进一步研究了关于铝和铝合金的挤压。

铝粉的挤压问题，可以用各种不同的方法进行，可以采用松弛粉末。将此粉末于加热状态下，在压制容器中弄实。容器的容量以重量计是很小的，在普通的水平式挤压时注满容器是不完全可能。因此粉末最好在冷状态下成形，然后把炉中预先加热的模压件放入挤压容器中压制。这样的冷压件，在主要的尺寸和约 45 公斤重量的范围内是可以制造的（图 1 和图 2）。



图 1. 铝粉制造的冷压件

在挤压铝粉时，必须采用较大的变形率，容器和阴模的比至少应该是 10:1。在高变形率的条件下，假如挤压机不适于大的容器直径和高的压力的话，那么，只能得到断面比较小的棒材。但常常希望能制作大断面的棒材。对于其它加工，如较大零件的模锻，可采用横截面较大的棒材。在本文中已证实了所谓连续挤压方法是很

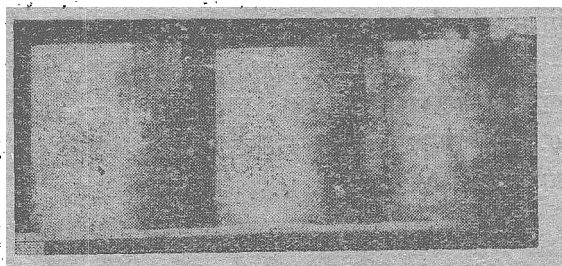


图 2. 由铝粉制成的直径为 280 公厘的冷压件

有价值的。首先把挤压的棒材分成单一的部分，然后把这些部分连接在一起再重新挤压，该连接棒大约与容器的直径相等。在第二次挤压时，变形程度比第一次挤压要小的多，而棒材的断面则较第一次为大。必要时，这种连接和压制的过程，可反复数次。

连续挤压的优点是：采用这种连续的压制棒材，可以过渡到大容器直径的挤压。当不能解决适合设备的大断面积的零件时，这种方法将可达到，并能满足其预期的要求。

模 锻

从前，已经指出在粉末冶金中，模锻有许多特殊的优点。虽然模锻的挤压过程进行的很快，但是，也同时进行了烧结，因此有损于以后的特殊烧结退火。这也适合各种不同类型的铝粉末，并且会使人感到特别惊奇。这一成就首先带来一个重要的发展，通过模锻也能制造零件，这些零件在各部分受压的方向上，高度是各不相同的。这就是说，材料的厚度有显著的不同。大家知道，通过冷压和热压制造这样的零件，有很大的困难。如今确信，只要采用特殊的压制技术措施，即使各个压制零件有不同压力的压模，相信可以克服这一困难。在热态下模锻时，可以毫无困难地制造出厚度差为 1:10 的锻件。因此，制造出复杂形状的锻件，如像连杆、轴瓦、叶片以及成形的半制品是不足为奇的。半制品多半是简单的，如圆柱形的或板形的半制品等。

模锻件用半成品的制造存在着不同的可能性。人们可以挤压断面，也可采用由铝粉制作的冷压件的半成品。总之，不是没有经过压缩的松弛粉末，作为模锻压力的对象。

轧 制

铝粉可能经过轧制成形。最简单的是通过挤压生产带材或条形板材，并将这种制品进行轧压加工。铝粉，或其它金属粉末也可以直接的轧制。

液压 (Fließpressen)

众所周知液压法，是以特别高的变形速度而著称的。

因此，鋁粉也可以進行液壓加工。正如在上述的模壓時一樣，仍然可擠壓出預先成形的，或冷壓縮的，或者未經壓縮的原材料粉末的零件。圖3所示的是一個壁厚為0.5公厘的圓筒，該圓筒是冷態預先壓制的板材（Pas-fill）擠壓而成的。

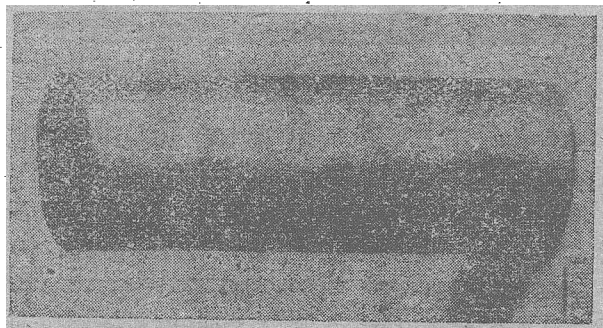


圖3. 由冷件經壓延後而制成的壁厚0.5公厘和長為25公厘的鋁質圓筒

此外，在此涉及到的熱變形法的標志是，當把粉末和為此而制得的原材料加熱還沒放入陰模中時，陰模先要受熱，並持續保持工作溫度。其次，可以再談談粉末冶金的热加工方法，此法特別適用於鋁，因為粉末冶金在熱狀態中操作時，所必須的措施就是排出空氣中的氧氣。鋁粉不氧化，因此，可在空氣中加熱和加工，而不需要特殊的保護氣體。正如R. 伊爾曼和杰爾勒德的試驗指出，氧化物含量並不是有害，而是可以利用的物質。

鋁粉不顧其氧化物含量和對於長期存在的偏見，於熱狀態下加工時可以很好地燒結的特性是，在粉末顆粒相互壓縮的意義上，所有這些加工方法並不是簡單的壓制。正如在冷壓或一般熱壓時的情況一樣，而是產生在粉末開始流動時的變形。因此，正如F. 沙烏爾瓦爾特認為：即是機械粉碎氧化膜，在各個粉末微粒間仍然存在著金屬的接觸。

此外，經過熱法制的產品與燒結冷壓件是十分不同的，即緊密而無孔。因此它們都可像壓制鋁鍛材料一樣繼續加工。由於強度、延伸率 and 沖擊彎曲強度的提高，也可把它們叫做燒結材料。就各種類型（顆粒形狀和大小）的鋁粉和製造方法而言，我們獲得了本文所述的結果與成就。根據我們的經驗，對於加工性按本文所述的方法，原則上不占主要地位，粉粒具有那些形狀倒是值得研究的。按與制品性能有關的要求加工和製造粉末。

材 料

完全同粉末冶金一樣，即是與熔融物中可合金化的極限沒有關係，加工鋁合金還是可能的。氧化物的含量前面已經講過了。鋁基燒結材料中含有一定的氧化物是

不可避免的，這首先對耐熱強度是有利的。含氧例子表明，與鋁合金的一般成分無關，並不受金屬成分的限制。鋁發生化學變化，或鋁與氧化物、硼化物、氮化物、硫化物、硅化物、碳化物等混合是完全可能的，並影響其機械性能或其它性能。延性的降低，限制了加工。這裡所指的延性是與混合而成的脆性材料有關。

從前冷壓鋁基燒結材料所得的經驗證明，粉末冶金方法可以順利的製造鋁的軸承材料，並且這種軸承材料具有良好的運轉性能。在這種情況下，我們也可以往金屬中間的混合物如 Al_2Fe_3 、 $CuAl_2$ 、 $CuMg_2$ 、 Al_5Mn 或非合金元素附加物如鉛和石墨方面去考慮，鋁的普通合金元素需要用粉末冶金方法加工，首先在這裡應提到的是硅。使用硅含量高的超共溶鋁硅合金，是很普通而人所共知的。由於硅的致密和均勻的分布，在超過低共溶組織後，又迅速復原。因此，加硅於熔融物中的合金（化）性仍受到一定限制。在鋁粉末冶金加工鋁硅合金時，硅也是在高含量下保持均勻和細密的分布。奇怪的是在高含量（35% Si以上）時，變形性顯著的下降了。根據上面所說的方法，特別是擠壓和模鍛，在含硅的情況下加工鋁硅合金是完全可能的。

含30% Si的合金制成的擠壓材料，在延伸率為0.3%時，與變形方向相平行，具有25公斤/公厘²的強度。同樣在0.3%的延伸率時，橫向強度為23公斤/公厘²。粉末冶金法所制的含硅鋁材料之硬度和熱硬度列於表2中。為比較起見， $AlSi_{12}CuNi$ 和 $AlSi_{21}CuNi$ 活塞合金的性能也一并列出。由此可以看出，由粉末冶金制作的材料優越於壓制的或鑄造的活塞合金，尤其適用於350°C下的熱硬度。

含硅的各種鋁合金的硬度和熱硬度 表2

| 材 料 | 制 造 | 洛氏硬度 | 熱硬度(三天後在350°C) | 洛氏硬度(三天後在350°C) |
|-----------------|-------|---------|----------------|-----------------|
| Al | 粉末冶金法 | 110~125 | 48~58 | 110~130 |
| Al+30%Si | 粉末冶金法 | 120 | 38 | 120 |
| $AlSi_{21}CuNi$ | 粉末冶金法 | 110~123 | 38 | 90 |
| $AlSi_{21}CuNi$ | 薄壳鑄造 | 90~120 | 17 | 90 |
| $AlSi_{12}CuNi$ | 壓制 | 100~130 | 9 | 56 |

活 塞

這樣的鋁硅合金，對於製造內燃機活塞，確實是非常適宜的。圖4所示是含30% Si的鍛造活塞。圖5是半成品的和成品的狀態圖。儘管含硅量多，加工性仍然良好，不會因高的硅含量而增加工具的磨損。

圖6是材料的結構圖，由此可以看出，硅的細密的均勻分布。

这样的活塞可以在具有鍍鋁汽缸高功率的双鍵馬達中，或在具有鑄鐵汽缸的双鍵馬達中正常運轉。雖然具有特別高的熱負荷和機械負荷（轉數超過 10000 轉/分），活塞仍具有良好的滑動性能。

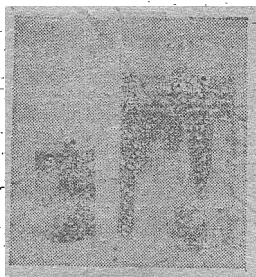


圖 4 由含 30%Si 的擠壓材料模鍛成的活塞

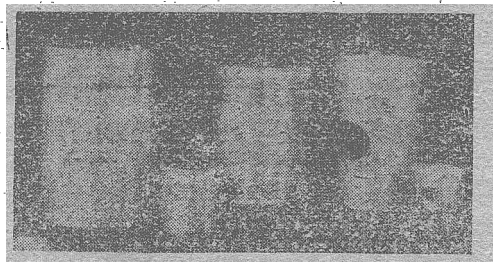


圖 5 鋁硅合金制的活塞半成品和成品

總 結

本文談到了粉末冶金製造鋁基材料的發展工作。一般說來，這些材料的性能，特別是在高溫下應用的性能，

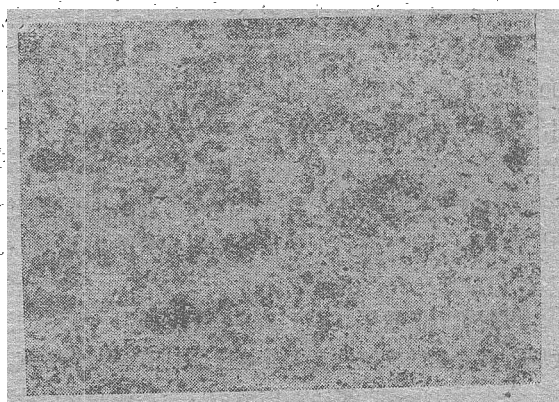


圖 6 用含 30% Si 的合金擠壓和模鍛成的活塞組織

是良好的，同時，也討論了鋁燒結材料的加工，如擠壓、模鍛、軋制和液壓等，這些方法都是隨着材料變形而進一步燒結。

此外，也敘述了製造鋁合金的可能性，特別報導了內燃機用的活塞和滾動軸承材料的發展。粉末冶金製造高硅含量的活塞也是可以滿足的，這種活塞的性能也討論過了，並且實踐中證明是可以採用的。

張本余譯自“Z. Metallkunde” 1956 年 2 期第 74 頁

鈦-鋁-鈮及鈦-鋁-鉬三元合金的研究

在國內和國外文獻中，對鈦鋁合金的報導都很缺乏，然而這些合金在實際中卻引起了一定的注意，因為鈮和鋁一樣，能夠大量地溶於 α -鈦中。因而當其將它與鋁同時加入的時候，便能促進合金的強化。

由於均質範圍很大，所以便有根據推測：這種合金將具有足夠的塑性，因而也就能很好地承受壓力加工。

關於鈦鋁鉬合金方面，文獻中已有一些敘述，並指出鉬對於鈦及鈦鋁合金的耐熱性有良好的影響。例如含 Al 6% 的鈦合金在 500°C 下的持久（100 小時）強度為 22 公斤/公厘²，而含 Al 8% 及 Mo 4% 的鈦合金在同樣的試驗條件下，其強度約為 40 公斤/公厘²。後一種合金美國已用來生產鍛件，該合金經熱鍛以後在室溫下的機械性能如下： σ_B ——120 公斤/公厘²， σ_s ——100 公斤/公厘²， δ ——8%。此種合金的缺點就是塑性較低，因而難於制取板材。

本文的任務就是要從該系合金中去找尋機械性能很高且適於獲取薄板材的適當組分。為了這一目的，曾在實驗室條件下對含 2~6% Al 及 2~6% Mo 的 Ti-Al-Mo 三元合金以及含 2~6% Al 和 1~8% Nb 的 Ti-Al-Nb

系合金的組織和性能預先進行過仔細地研究。

合金系由鎂熱法所製得的鈦于氬氣氛中在帶有鎢電極的電弧爐內熔煉而成。將所得的鈦錠于 1000~800°C 下鍛成截面為 8×8 及 12×12 公厘的棒材，然後用棒材制取試樣，以便進行機械性能試驗和顯微組織的研究。

當試驗 Ti-Al-Mo 系合金時，含 3~4% Al 及 3~5% Mo 的合金顯示了最好的強度及塑性的綜合性能。如繼續提高鉬含量（達 6%），隨着強度的增加便會導致塑性的劇烈下降。

在 Ti-Al-Nb 系合金中，在塑性合格的情況下，具有最大強度的是含 4~5% Nb 及 5~6% Al 的合金。

經過顯微組織的研究證明，上述合金具有 $\alpha + \beta$ 兩相組織，而大部分是 α 相。

上述成分最合適的合金，後來又在工廠用大爐（達 200 公斤）進行過研究。

· 配制合金的原料為：用鎂熱法制得的海綿鈦，牌號為 AO 的鋁（99.6% Al）、鈮粉（98.8% Nb）和鉬粉（99.0% Mo）。合金系在帶有消耗電極的真空電弧爐內熔煉的，其工作規範如下：電弧電流為 5000~6000 安培，