

复杂的或简单的合金系统，都有许多工作等着要做。本特（Bens）史密兹（Smith）及其工作者们的合金研究工作显然具有实用意义；在简单的纯金属方面，由于开始了工作，计算也更易了解。

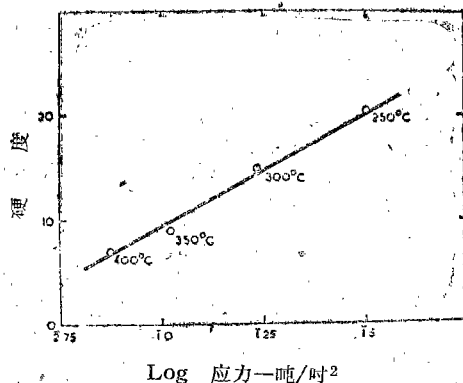


圖6 在同一溫度下，純鋁的硬度與應力的關係，在100小時內，為10%

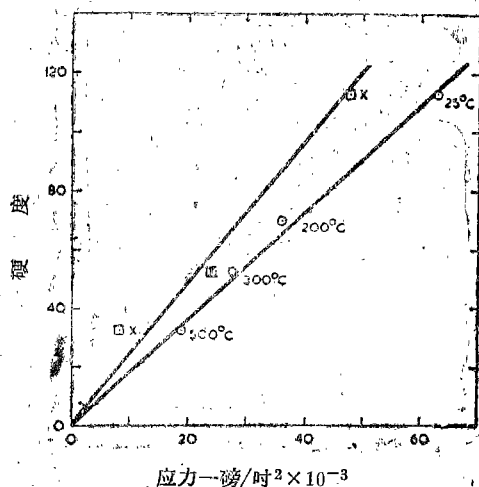


圖7 電冶鋁的硬度與熱拉力強度(○)蠕變持久1,000小時(×)，應力所產生的蠕變率為 10^{-5} 時/時/小時(平方)

現在還缺少純金屬蠕變與蠕變斷裂的結果，對這一部分進行概括目前尚不可能，但從圖6~8可看出在熱硬度與蠕變斷裂間的關係變化不大。

結果，對純鋁來說，如圖6中對熱硬度與10%100小時應力所作出的圖所示。這種簡單的關係，在魯得維克(Ludwik)的研究工作中也存在，雖然Ludwik的結果中不是高純度鋁的熱硬度。

電弧熔煉鋁的熱硬度對熱拉力強度的關係以及在1000小時內蠕變斷裂強度的關係，如圖7所示，表現為近似直線。

鋁合金及鋁——0.5%鈦合金，100小時內持久強度與熱硬度的關係，已由薩蒙吉莘(Semchyshen)和托格松(Torgerson)獲得結果，如圖8所示，為一條直線。在所舉的溫度範圍以上，熱硬度與應力對數的曲線，幾等於一條直線，但這些數據還是有限的。

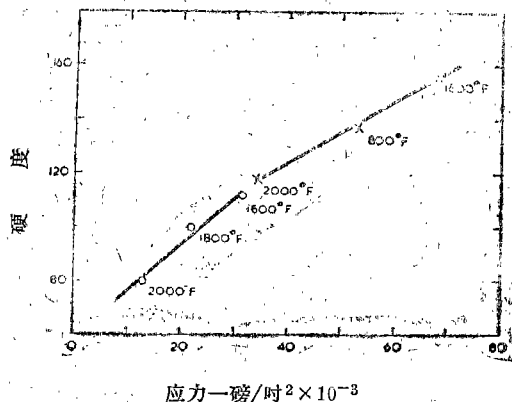


圖8 應變強化鋁(○)與滾軋鋁—0.0%鈦(×)的100小時持久強度與熱硬度的關係

對於一切純金屬或簡單合金來說，可得出這樣結論，而對於複雜的時效硬化類型的合金來說，這個結論可能不一定相符。

付琨譯自“Metallurgia”1957.12月 231~236

燒結的高熔點鎢合金*

鎢是一種熔點很高的金屬，也是熔點僅次於碳的元素。只有金屬的硬質材料，如鉻、鉛、鎢和鉍的碳化物，才能勝過鎢的熔點。

趁知名的奧地利科學家和發明家克·威斯巴赫一百壽辰之際，如果我們翻閱他後期的作品**，那麼便會發

現，早在60~70年前，人們就已經知道，鉕亦是高熔

* 討論會上的發言：“1200°C以上的金屬和合金的研究”1958年9月17~18日於俄克斯弗德大學

** 威斯巴赫著“技術史篇”斯甫內格出版社，維也納(1934)

点金属。熔点次高的金属铱尚未发现时，铱的熔点为约2300°C，钨为2500°C。因此，威斯巴赫创造了第一个金属灯丝——钨灯（Osmiumlampe）。正如他自己坦率地表白的那样，他的发明创造即钨和铱的灯丝，具有极其重大的经济效果。

高熔点金属系周期表中所谓的过渡族金属。它具有特别高的结合能量，也许能获得比标准的金属结合还高的能量。众所周知，结合能量的过剩是与电子壳层的不完全填满相关的。

十分明显，金属的熔点越高，原子在晶体点阵中相互结合得越紧。

过渡族金属的不完全稳定的内电子壳层中的d次层电子数在周期表的水平行中增加到10个时，首先用1~5的电子数目估计因这些电子而引起的结合力，以便使电子数再渡下降至5~10个。金属钨、钼和钽固态时在不完整的内壳层中各有5个d次层电子，并因此而相对稳固地结合。在周期表的水平行中，它们是熔点最高的金属。

现在，如果我们像周期表中IVa和Va组金属的碳化物和硼化物时一样试验，在加入50原子% C或66 $\frac{2}{3}$ 原子% B合金化后，可否提高钨的熔点，那么我们会自视失望，因为钨碳系和钨硼系中的碳化相和硼化相的熔点不可能比纯钨还高。如果用周期表中IVa至VIIIa组的其他高熔点过渡族金属试验钨的合金，这样我们就可以一方面获得没有最高熔点的无裂纹的固溶体系，另一方面可以在局部固溶时得到无裂纹的固溶体，例如，钨—铌和不接近纯钨熔点的中间相等。也许我们必须阐明对熔点较高的合金以及钨的结合的愿望。

IVa	Va	VIa	VIIa	VIIIa
22 Ti F _p = 1660°	23 V F _p = 1885°	24 Cr F _p = 1850°	25 Mn	26 Fe F _p = 1538°
40 Zr F _p = 1045°	41 Nb F _p = 2470°	42 Mo F _p = 2620°	43 Tc	44 Ru F _p = 2400°
72 Hf F _p = 2230°	73 Ta F _p = 3030°	74 W F _p = 3380°	75 Re F _p = 3170°	76 Os F _p = 3000°
				77 Ir F _p = 2445°

- = 立方面心晶体A1;
 ■ = 立方体心晶体A2;
 ○ = 六方密集体A3;
 F_p = 熔点, °C

图1 含周期表中IVa至Va和VIa组过渡族金属的钨合金

关于含IVa至VIIIa组特别是Va和VIa组的其他过渡族金属的钨合金，我们曾经致力于这方面的研究，得到图1所示的情况。钨完全可以用铌、钽和钼混合。

此外，在较高的温度时还可以用钨混合，同时在固态情况下存在混合裂纹。想像的钨和钼的混合性——类似于我们发现的钨和钼的完全混合性——是通过我们的最新的研究而证实的。在采用IVa至VIIa和VIIIa组的金属时，往往会在钨上形成比较小的固溶范围。哈·比克尔在研究了这些系的点阵常数之后，证实了Va和VIa组内的比例关系。

在讨论不同的高熔点钨合金时，我们特别愿意重视钨，因而不得不使我们致力于变形性良好的和可用于工业上的合金。就我们自己的和国外的研究所涉及到的这些合金看来，不外乎是钨钼、钨钽、钨铌和钨铍等系。

含钨、钼及钽的钨合金

对于钨和钼来说，钨仅有微小的溶解性。

烧结的和在钨电弧中于氩气保护下熔炼的试样的某些定性变形试验，与我们从前对钨钼和钨钽系的研究是一致的。这个事实表明，这些合金几乎或者仅仅在很小的钨和钼的含量（如<1%）时，才有技术上的意义（图2）。只有含钨的合金才有可能按制造类别显示出令人满意的弹性。含钼的合金很容易变形。

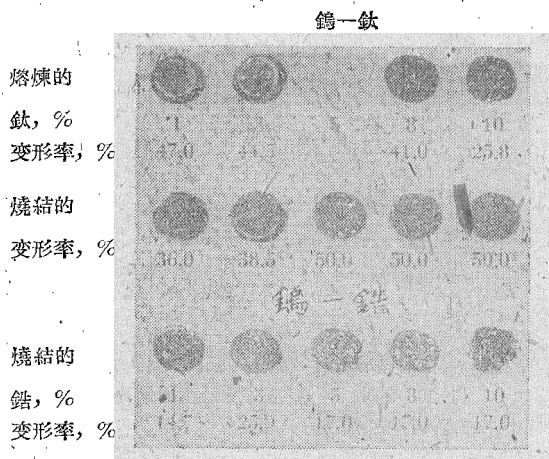


图2 钨钨和钨钼合金的热变形性

钨钼系至今尚未研究。似乎没有什么必要去区分钨钼系。

含钨和钼的钨合金

在较高的温度时，钨很容易与钼完全混合，在1500°C以下的温度时，存在着扩张的混合裂纹。

我们最近对电弧熔炼的粗颗粒试样所进行的、定性机械加工试验表明，钨的加工性很坏（图3）。若热变形不足时，烧结的粗颗粒试样才具有较好的加工性。

钨和钼是可以无裂纹地混合的。几种工业上生产的钨钼合金的性能示于图4中。抗拉强度，0.2延伸极限，

硬度、彈性模數和延伸率均為沒有最大值的标准曲綫。

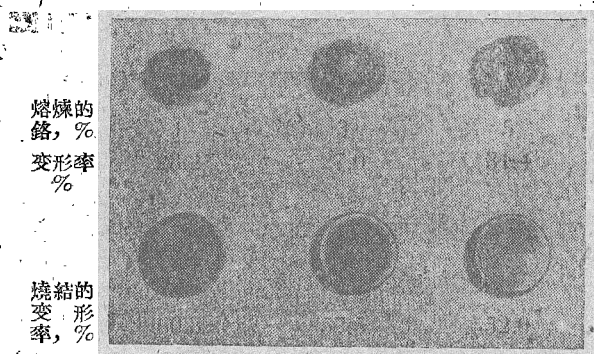


圖3 鎢鉻合金的热變形性

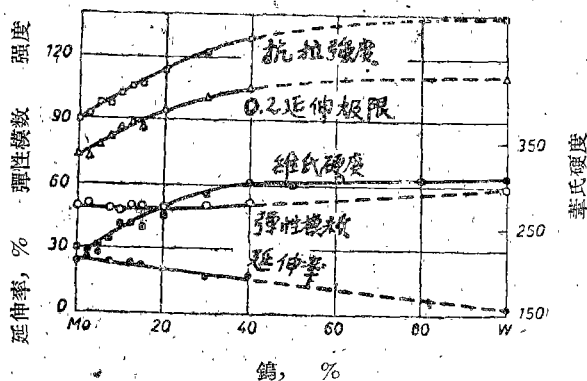


圖4 室溫時鎢鉻合金的機械性能

从合金技术的观点着眼, 这些合金是不完全令人满意的。提高鎢含量似乎抬高了鉬的身价; 当鎢在加入鉬后, 其性能(延伸率例外)似乎变坏时, 而鉬的硬度、耐热性和抗蚀性确有所改善。

在約含50%W时, 比电阻具有最大值, 温度系数具

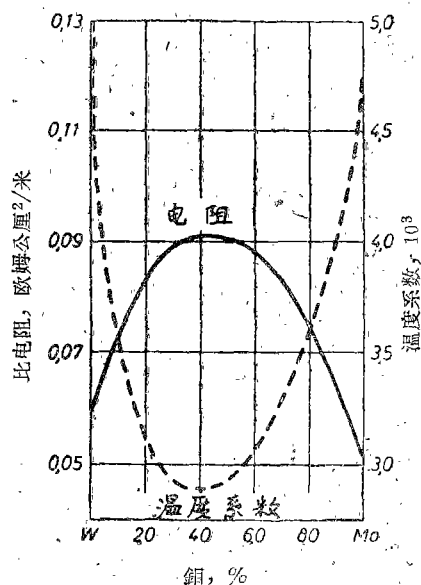


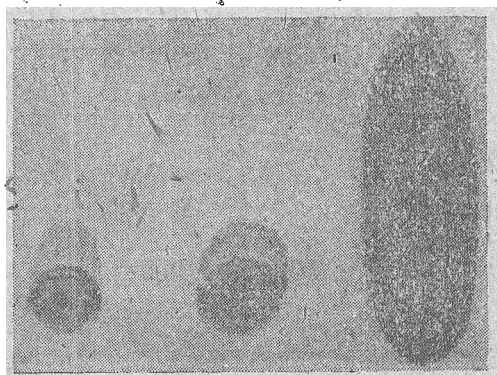
圖5 鎢鉻系中的比电阻和温度系数

有最小值(圖5)。在电子管和輝光灯工业中, 在采用鎢鉻合金 50/50 的導綫时, 这些特性均已被充分的利用了。

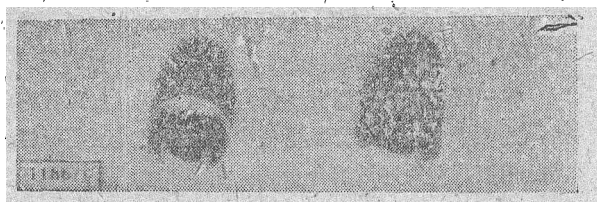
在較大的範圍內, 合金鉬鎢 98/10 可以用作鋅挤压技术中的材料。鎢含量高的合金能防止鋅的潰蝕, 但相当容易变形。

含鎢的鉬合金

在此, 因为自己欠缺研究, 而不得不依賴格·阿·嘉西、尔·伊·亞非和埃·門·沙非基耶及其同事的工作。克·柏克尔和克·摩尔斯曾于1930在鎢鉬系中測定的液相曲綫, 完全与埃·門·沙非基耶的新的研究一致, 其显微硬度之值又与尔·伊·亞非所得之值相符合。



10Re 21.4% 还原
20Re 29.7%
30Re 86.4%



35Re 10.2%
40Re 0.9%

圖6 在1000°C鎢鉬合金的變形性

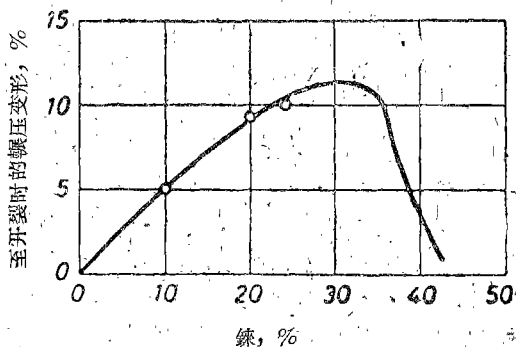


圖7 鎢对鉬的冷延性的影响

根据尔·伊·亞非的研究，圖6是表示含約25~30% Re的a固溶体的冷延性与純錫的比較。根格·阿·嘉西的研究，鎢銻合金的冷延性随銻含量的增加而变更；在含30~35% Re时，他获得了冷延性的最大值。这种合金与純鉬或錫和鉬銻合金比較起来，它具有更加良好的高溫性能(圖8)。

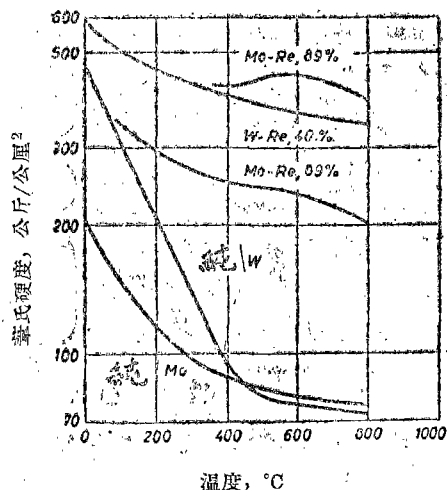


圖8 几种銻合金的热硬度

含鉬族金屬的鎢合金

我們对含鐵、鉍、鉍、鉍、鉍等附加元素的鎢合金，特別在其貴重金屬方面进行了多次研究。鎢中上述貴重金屬的熔解性是很小的；在参考文献中，仅能找到下列的值：鐵于鎢中为<5原子%，鉍于鎢中为<2原子%，鉍于鎢中为1.5原子%，鉍于鎢中为2.5原子%，鉍于鎢中为3.5~5.5原子%。

格·阿·嘉西在研究鉬銻合金时發現，加入鉬中的鐵，近似于銻——尽管数量較少——但仍能改善延性。与此相似，在采用鐵鎢合金时，主要依赖于鎢。鑒于鐵鉬合金的情况，上述鎢合金的深入研究似乎是必要的，也是有趣的。

含鈳、鈳和鉍的鎢合金

当埃·比比茨和尔·克弗尔确定，鉬和鈳能形成无裂紋的固溶体系后，鎢鈳合金系便在氫气保护下于鎢电弧中熔煉，在休謨-諾德里关系(Hume-Rothery-Beziehung)的基础上，可以获得两种金屬的完全熔解性。福·諾斯克和阿·什·亞瑪諾托在研究鎢鈳合金的过程中，获得鈳中40% W的熔解性。在較高的鎢含量时，根說他們發現了两相性(Zweiphasigkeit)。圖9是我在燒結和随及熔煉的試样上測得的液相曲綫。在80重量% V和約1630°时，出現熔点的最低值。点陣常数符合于高溫时的完全熔解性。

鈳，原子%

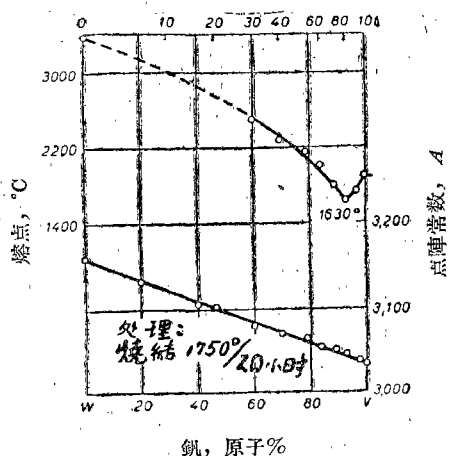


圖9 鎢鈳系中点陣常数的液相曲綫

在鎢鈳系中，是否像在鉬鉍情况下一样地会涉及到具有熔点最低值的固溶体系，或是否像在鎢鉍系一样地在固态时存在具有混合裂紋的完全混合性的系統，这样的問題已經明确了。鎢和鈳是可以无裂紋地混合的，其金相圖相当于鉬鉍系。

正如赫·布克已經指出，鎢和鈳是可以完全混合的。我們用燒結的和熔煉的試样研究了此系。两种金屬的完全熔解性所証明的結果示于圖10中。十分明显，在50和60原子%的範圍內具有最大值。比电阻和傳導性的最大值或最小值，同样也清楚地表明了各混合裂紋的固溶体系的形成。

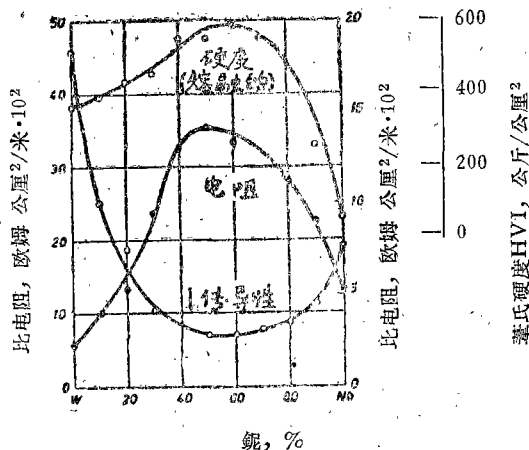


圖10 鎢鈳系中的硬度比电阻和傳導性

鎢鈳系变形合金的研究正在进行之中；研究結果不久即将报导。

波尔通第一次在文章中闡述的、鎢和鉍的完全混合性已被赫·布克补充完善了。这个結果今后还将由茨·赫·西納門、卜·戈尔东和阿·尔·考曼以及尔·赫·迈尔什进行X射綫分析。我們所得的結果与赫·布克所

得之值完全一致。由于中間成分的合金是非变形的，故工艺性能的研究至今始終限于鎢鉍系的邊緣。这种加工技术的困难使我們不得不重視鎢鉍合金的整个范围。

合金的燒結

克·耶·阿尔茨特 1957 年进行的試驗表明，在直接燒結鎢鉍的粉末压制件时，成分 50/50 的合金具有燒結密度和燒結硬度的最小值。当我们看到鉍扩散到鎢中，以及看到鉍的吸气作用和氧化物靜化效应时，孔隙的放大引起我們不得不对其理論密度平均为 90~97% 的燒結体繼續分析研究。通过約 2250~2300°C 下的預先燒結和 $2-6 \times 10^{-5}$ 托尔 (Torr) 的真空，在 2500°C 和 10^{-5} 托尔 (Torr) 时，随着高溫燒結而逐步形成固溶体。

預先合金化是在高真空鎢制管式爐中进行的，該爐示于圖 11 中。热電功率为 60 仟瓦，允許在 10^{-5} 托尔 (Torr) 时和任意時間內保持溫度为 2700°C，用鉍夾持器將燒結試样挂入水冷電極間的鎢管中。

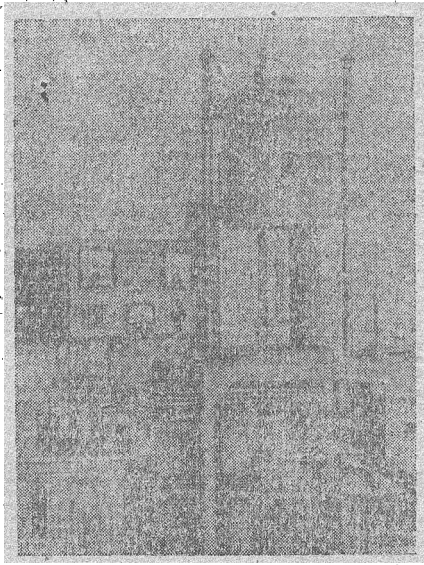
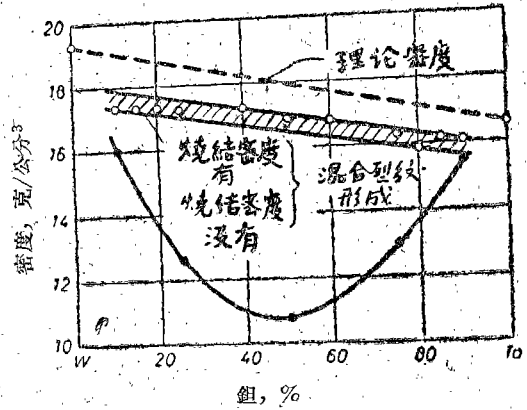


圖 11 鎢制管式高真空爐

在 8 小时內两次燒結由合金粉末压制的試样后，就其性能而言，合金是可以比較的(圖 12)。具有最小值的曲線表示无固溶体形成的燒結时的膨脹效应。寬带的范围表示預先合金化的效应和密度值，它們都很接近于理論曲綫。

在由 100 和 200 公忽的粗顆粒压制的圓柱形式样上，經過阳極氧化的应用 (0.1 摩尔 H_3PO_4 ，240V，2 至 10 分，20°C)，按显微硬度和金相的方法，針对不同時間內燒結的，成分为 50Ta/50W 的試样，研究扩散的行程，这似乎是不可能的。应当指出，这样的合金成分中的燒結差別，就因阳極氧化作用所产生的色澤而足能引

人注意了。在这种情况下，在不同時間和不同溫度下燒結的过程中，濃度的变更是可以看得見的。当确定結果时，由于表面扩散即鉍不断向鎢扩散，而在鎢鉍系中形成固溶体，并在約 2600°C 下燒結 12~15 小时后，所形成的固溶体便完全均化了。

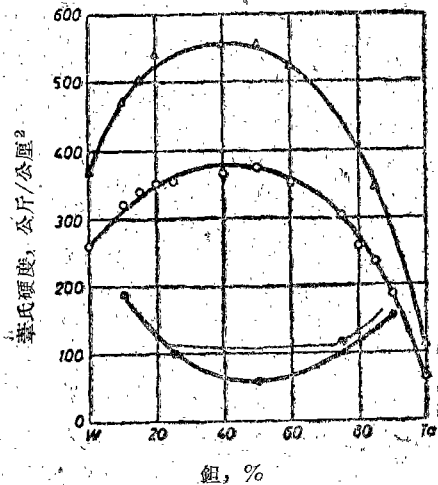


燒結条件; 2550±20°/8小时
 $V_A = 14 \cdot 10^{-5}$ 托尔 (Torr)
 $V_B = 1 \cdot 10^{-5}$ 托尔 (Torr)

圖 12 鎢鉍合金的燒結密度

燒結合金的性能

根据圖 13 的硬度行程，不仅燒結的而且氬弧法熔煉的合金，均有显著的最大值，并符合于庫尔拉科夫确定的、具有完全溶解性的二元合金的性能。如前所述的情况，已經足以表明比电阻了(圖 14)。含 40% W 的合金有电阻的最大值，大約可計为 30 微欧姆·公分。



△=熔煉的
 ○=2500°C/8小时/ $14-1 \times 10^{-5}$ 托尔 (Torr) 間接燒結的，有固溶体
 ●=2600°C/12小时間接燒結的，沒有固溶体

圖 13 鎢鉍合金的硬度

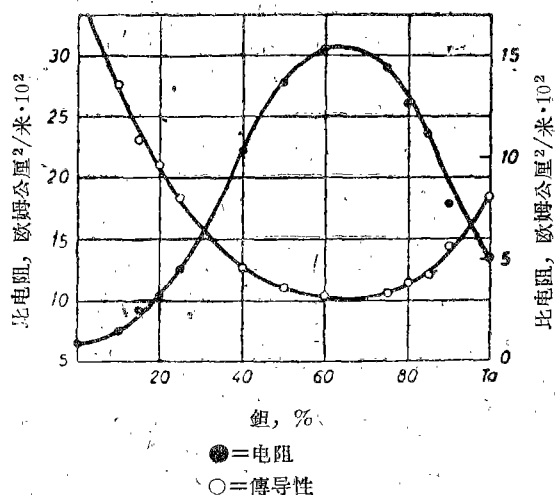


圖14 錫鉛系的比电阻和傳導性

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。

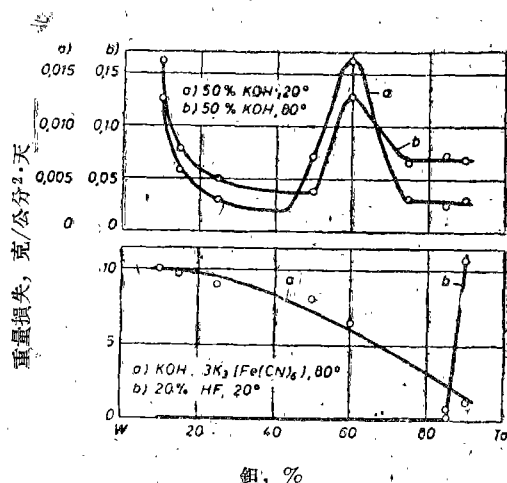


圖15 錫鉛合金的腐蝕狀態

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，並求得了熔解曲綫和點陣常數。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