

粉末冶金磁电材料

前 言

本輯收集譯文和綜述共 25 篇，着重敘述了在电工和仪器仪表工业中的粉末冶金結構零件、电触头材料和磁性材料的性能及其应用。

第一部分“零件的生产和应用”共 8 篇文章，談到了电工及仪器仪表中常用的粉末冶金材料与零件及其优越性，并作了經濟分析。最后三篇文章闡述了国外最近发展的制造高强度粉末零件的低合金鋼材料及其应用实例。

第二部分是电触头材料方面的 6 篇文章。在《国外粉末冶金电触头的現狀及其发展趋势》的一篇綜述中，概括了世界各国常用电触头的品种及其性能。其余 5 篇中，分別就几种不同类型的电触头材料描述了制造工艺、特性及其应用，其中 COM-8 和銻还是比较新穎的电触头材料。在电触头的生产技术方面，《电工技术上用的粉末冶金触头材料制造过程的研究》一文，簡介了罗马尼亚人民共和国克魯日工艺研究所用高频加热燒結鎢粉触头的新技术。

第三部分談磁性材料，有 11 篇文章。其中有綜合性的概述，也有专論。《燒結鉄的磁性》一文論述应用廉价的海綿鉄粉（即还原鉄粉）燒結鉄磁件的磁性能；另文中談到了軋成片狀的鉄粉用于制造迭层磁性材料的优越性；这些資料对目前使用廉价的普通鉄粉頗有参考价值。此外，还談到用还原混合的氧化物方法和电解法来制造坡莫合金粉末，对于粉末冶金軟磁材料的生产亦不无可取之处；至于正在发展中的应用粉末軋制技术制造磁性帶材以及微細鉄粉的永磁材料方面的文章亦选譯了一些。

选入本專輯的文章，着重在上述三方面的生产技术和应用，希望能对我国目前在电工和仪器仪表方面进一步扩大应用粉末冶金技术有所裨益。本輯由第一机械工业部机械科学研究所材料研究所仲文治同志主編。由于水平限制，取舍不尽恰当，疏漏之处在所难免。深望讀者惠予指正。

目 录

零件的生产和应用

粉末冶金零件在电器和电子零件設計上的优点与应用	1
粉末冶金材料在电气工业中的应用	8
仪器制造业粉末冶金零件的制造工段	11
粉末制造的机械零件	16
青铜-石墨的粉末金属板在仪表制造中的应用	22
用粉末冶金法生产低合金鋼的一些实验	24
燒結低合金鋼的若干新用途	32
燒結低合金鋼結構件的机械性质評述	37

粉末冶金电触头

国外粉末冶金电触头的现状及其发展趋势	41
现代粉末冶金电触头	52
电工技术上用的粉末冶金触头材料制造过程的研究	58
粉末冶金的双金属触头	64
COM-8 触头	67
鍍用作电触头材料	71

粉末冶金磁性材料

磁性材料	76
用于音频及超声的迭层片状鉄粉材料	82
燒結鉄的磁性	88
粉末冶金軟磁合金(一)	92
粉末冶金軟磁材料(二)	100
鉄-鎳粉末軋制帶材	108
鉄粉帶材磁性的研究	112
粉末永磁材料綜述	116
粉末永久磁体的磁性	125
粉末冶金用作生产与探索硬磁材料的方法	133
微細鉄粉基永久磁体	137

粉末冶金零件在电器和电子零件設計上的优点与应用

H. E. Barkan

摘 要

粉末冶金的定义,在电器和电子零件設計上的应用,并有实用設計上的例証。以例說明粉末冶金制品的性能、优点和設計参数。

性 能

粉末冶金是一种用于成形金属零件的方法——为得到一种具有所需物理性能的材料,将金属粉末压至一定形状和尺寸,然后在低于其主要組分的熔点的高温下燒結,表1列出了影响燒結作业的因素。

表1 影响燒結作业的因素

A. 材料的因素	晶体结构	压形压力
	扩散系数	压形温度
	熔 点	压形持續時間
	密 度	压形速率
B. 顆粒的因素	制造的方法	压形气氛
	顆粒形状	D. 燒結的因素
	顆粒表面条件	燒結温度
	顆粒尺寸	燒結時間
C. 压形的因素		燒結气氛
		加热速度
		冷却速度

燒結的金属粉末压件的性能凭借于金属粉末的类别及制造方法、顆粒尺寸和形状,也依靠压形条件和燒結作业的因素变化。图1为温度对鈹的燒結的影响。表2和表3指出了几种粉末金属材料性能。

用粉末冶金来使各种金属材料組合是其特点之一,因而使得粉末冶金技术頗为重要,它可以制造

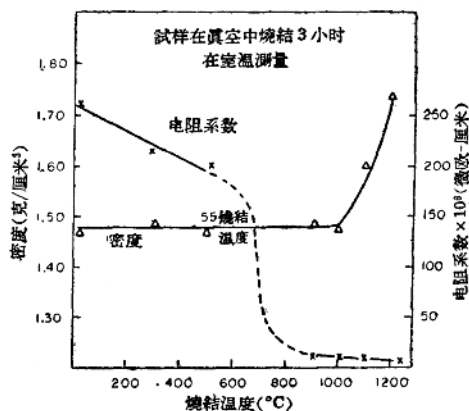


图1 燒結温度对鈹的密度和电阻系数的影响

任何其他冶金方法所不能制取的材料。多元金属系的固态反应的结果能形成固溶合金或金属互化物。但有几种金属的組合,它們并不形成固溶体或金属互化物,可是仍能要求組合这些金属以得到一种仍保留其各組元金属的主要特性的材料。例如,銅与鈹的組合在电工上很需要,而这两种金属并不相互扩散。其中,鈹的重要是由于其高的抗磨性,而銅則是一种极好的导体。将鈹粉与銅粉混合、压形并燒結,結果得到一种复合材料,其中鈹与銅的粉末顆粒借鈹連和机械压力(如粘附)結合在一起。粉末顆粒

表2 几种粉末冶金材料的性能

性 能	鈹 合 金	鋁 合 金	鎂 合 金	銅	
				— 77.91% Cu 1.75% Pb 20.34% Zn	64.70% Cu 10.18% Ni 1.50% Pb 23.62% Zn
抗拉强度(磅/吋²)	41,000~48,000	30,000~45,000	30,000~33,000	26,000~36,000	28,000~34,000
抗剪强度(磅/吋²)	31,000~38,000	19,000~28,000	20,000	—	—
延 伸 率(%)	7~10	2~9	1~3	10~27	10~15
硬 度	82~91 Bhn	50~80 Bhn	60~62 Bhn	50~76 Rh	78~81 Rh

表3 代表性的黃銅粉末的成分和性能

化 学 组 成 %			
Cu	78.5	76.3~79.3	77~80
Ni	无	1.2~1.7	2.1~2.6
Pb	1.5	1.1~1.7	1.1~1.7
P	无	1.3~1.8	1.4~1.9
Fe	无	无	0.25~0.50
Zn	余量	余量	余量
性 能			
抗拉强度 (磅/吋 ²)	30,500	43,000~ 48,000	40,000~ 45,000
延伸率(%)	20	26~32	16~23
布氏硬度	43	63~70	70~80
燒結密度 (克/厘米 ³)	7.9	7.80~8.00	7.80~7.95
收縮率(%)	1.2	2.65	2.3

的表面晶体的晶格缺陷在这里参与了决定性的作用,因它們将容許一种金属的原子,以填隙杂质原子的形式移到另一金属的晶格中。这种形式的复合材料保留了錫与銅的某些特性,用于制造电触头十分良好,这里,好的导电性和耐磨性二者都是所企求的。

粉末冶金技术的应用是一种达到均匀一致而具有相当高的純度和不致在合金中引入可移去的杂质的方法;粉末方法自动地保证了成分的控制,达到为一般熔化和鑄錠技术所难以实现的程度。金属粉末在合理价格下提供具有相当高的純度的原材料。燒結是一个能避免杂质混入和对合金能起到一些净化作用的工序。燒結材料所固有的孔隙有益于阻止不正常的晶粒长大,如是,可容許有利地使用在高温的最后退火。其中,大多数的孔隙在作业过程中消除。

少量的残余孔隙必須任其存在,如果完全消除掉将会导致不正常的晶粒长大;因为空的孔隙并不产生任何固溶效应。孔隙更象是夹杂物,但却是可消除的夹杂物。因而,可以料想最終残留的孔隙比数量相同并且大小、形状和分布相似的固体夹杂物,其损害要少一些。

磁 性 能

在高频方面,鉄粉芯的应用已有很久的历史,包括用于无线电的中频变压器鉄芯,用于无线电接收机电感調諧的磁芯,用于天綫及无线电測向器的感

应器以及用于電話滤波綫圈的环形綫圈鉄芯。密致鉄的磁性非綫性产生畸变,而鉄粉芯則近乎綫性,而且粉末鉄还降低了渦流損耗。

鉄芯的直流磁性能,曾經由西屋电气公司对于每一退火处理測試过其平均性能。飽和磁通密度高至15~16千高斯範圍內。最大磁導率高至40,000到125,000之間,且具有从0.25到0.08奧斯特的低矯頑力和有在90%与96%之間的相当大的頑磁性对磁飽和之比,这些均随退火条件而异。对于任何一組退火条件來說,这些性能是均匀一致的。

这些特性是粉末制品具有高純度和均一性的标志,而由于具备这些条件,此种材料才能可靠地进行晶粒定向处理。

当温度增加,其定向程度和最大磁導率的一般增高和矯頑力的随之降低,指出在較高的退火温度是有利的。这样,在退火温度約为1150~1250°C时很易获得95%或更高的定向,超过100,000的最大磁導率和0.1奧斯特或更小的矯頑力。

可控制的密度

粉末冶金有三个特性,使其在金属加工成形技术上形成了独特的地位:首先,它提供了一个經濟方法,可以获得用其他方法难以实现的結構形状,其次它提供了用另外的方法所不能做到的一种結合材料的方法,还有,它在金工上引入了一个具有重大意义的第四个因素——可控制的密度或可控制的孔隙度。

这个冶金上的第四因素,由于从它所能得到的独特性能,曾經借此引入了許多新的应用:例如具有保持大量潤滑剂能力的自潤滑或含油軸承只能用粉末冶金法制得,在粉末冶金的零件中浸渗以其他金属或非金属材料已經創造出一种金属結構,具有通常技术所不可能达到的复杂物理性能。在同一个粉末零件上能在其某一部位上硬而坚实,而在另一部位上則較軟和多孔。現在已可能“定制”不同的性质以迎合不同应用的物理要求。

在普通的金属作业中,常不希望有孔隙,因为孔隙是不可控制的。在粉末冶金中,孔隙能全部去除,能应用到任何程度,或在特殊应用上作为主要性质。

孔隙度可控制的优点还頗有益地应用到那些意想不到的地方。如計时机构的齒輪便是一个例子。粉末零件的固有的表面孔隙使其比冲压的齒輪工作得更平滑和延长使用寿命。

制造結構零件所广泛采用的金属粉末是:鉄、

銅、黃銅、青銅、鋁-銀、合金鋼和不銹鋼。在所有情況下，粉末压制件的孔隙度是事先借粉末顆粒大小、潤滑劑、压制壓力和燒結條件的選擇來預定的。極大的孔隙度（如用於制過濾器的）採用品級嚴密控制的噴霧法球狀粉末來制取。自潤滑軸承大致是理論密度的75%。結構的和機械上的粉末冶金零件其密度範圍約從80%到95%以上。

自潤滑軸承是評價可控制性孔隙度的典型實例。現在它在粉末冶金中應用最廣泛，是最早又是最簡單的實際應用。浸油處理現在已發展到用於不同形狀和尺寸的許多結構零件，如同應用於平常的青銅和其他的軸承材料。

通常的粉末冶金軸承能貯存體積的10~40%的油，其優點是軸承轉動時發熱而油膨脹泄出，增加了潤滑作用，反之，當冷卻時油則重新被吸入軸承儲備待用。

可控制的孔隙度可借浸滲金屬的技術來達到物理性能和機械性能的精密控制。以銅或黃銅來浸滲高孔隙度的燒結鐵的結構零件，有二點益處：較高的強度和硬度以及均勻的密度（特別是對於具有不均勻的或極厚截面的零件）。

電阻系數

燒結陶瓷——金屬材料的電阻系數取決於許多可控制的變數，並不遵守其他電阻材料所遵循的規律。由於是含有導體、半導體和絕緣體的複合材料，其電阻來自顆粒之間的接觸和單個顆粒本身的電阻。它們的電阻率是在表征半導體的 10^{-2} 到 10^6 歐姆-厘米範圍內，因而可列為半導體。可是，它們的溫度系數可為正的、負的或為零，或有隨溫度變化的溫度系數。而通常的半導體在室溫下溫度系數是負的。

輻射效应在粉末冶金制品中

任何金屬粉末顆粒的特點是表面積與其質量（或體積）之比很大。因為表面晶格常常與體內晶格不相同，那末對顆粒的結構來說就成為一個重要特點：表面晶格顯出了大量的點缺陷如象晶格空位、位錯、或其他的不完整性，所以人們可以把這些表面晶格當作高度失序的。曾經證明過，材料中的核能輻射效應與其結構的無序程度密切有關，晶格中有較高程度失序的材料比晶格有序的材料更能抵抗輻射。

當在變動於5~50噸/吋²的壓力下進行模壓時，在金屬粉末中的晶格畸變將進一步發展，而且在金屬粉末顆粒相互接觸之處，其晶格畸變更大得多。

在粉末冶金的下道工序——燒結時，晶格重新排列至一定程度，但很少能達到有序結構。但是，在燒結之後進行一些熱處理，其晶格結構可以轉變到有序的。從粉末冶金作業中所導致的無序晶格可使得一種材料對於輻射損害的抵抗力更大，因而用粉末冶金作為一個加工輻射屏蔽的方法，是顯然有利的。

應 用

用粉末冶金法製造的零件，可以在一些日常器具和機械中獲得應用（圖2和圖3），如洗衣機、商業機械、電剃刀、照明裝置、攜帶式電動工具、工業用鉤扣和計時器。粉末冶金齒輪幾乎包括了每一種形式和尺寸，如正齒輪、傘齒輪、平面齒輪、組合齒輪、扇形齒輪、斷續齒輪和斜齒輪；這種齒輪具有各種形式和形狀的單個的或多個的孔，如錐孔、平底孔、帶鍵的孔、帶鍵槽的孔、花鍵孔、方形孔和偏心孔等。粉末冶金的凸輪亦有多種形式，如平面凸輪、徑向凸輪、箱式凸輪、圓柱凸輪、多面凸輪、偏心凸輪以及凸輪和齒輪的組合件。

凸輪 凸輪表面用一般的金屬加工方法難於製造，機械加工的化費極其昂貴。而且特殊的耐磨及表面的要求也是要考慮的問題。凸輪的生產常常是更趨向於採用粉末冶金技術，因為可以滿足複雜形狀、強度、硬度、抗磨損和緊密公差的要求。

一個用鉄粉製造的，用在連續式表面照明裝置中的暗門中的四凸角凸輪，它與Geneva凸輪的操作相似。對於這種凸輪所以選擇粉末冶金法作為加

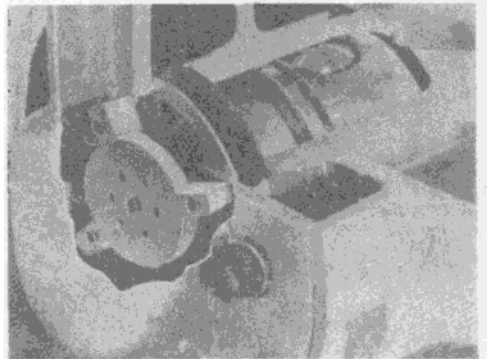


圖2 鉄粉製造的星形輪 (Spider) 已應用在通用電氣公司出品的空氣調節設備中的高速密封壓縮機上。零件用作放氣閥的導承和靠塊以及支持閥門片組件，它符合高機械強度和抗磨損的嚴格要求

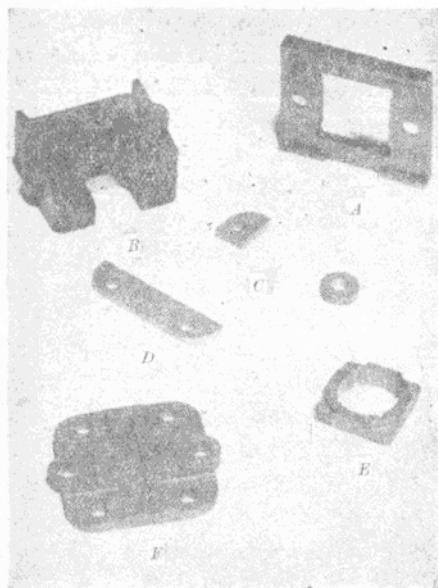


图3 用粉末冶金技术所制的，用于波脱-开勃尔机械公司出品的便携式电动工具上的零件

A—高密度的铁粉末金属的传动座 (drive block)；
B—浸渍油的合金铁粉末金属的叶片托座板 (blade-holder saddle)；C, D—浸渍油的青铜粉末金属的传动机构上下护圈；E—浸渍油的青铜粉末金属传动座；
F—浸渍油的青铜粉末金属叶片托座护圈

工方法，是由于其成本极低——节省约70%。它与小齿轮整体地制造出来，这种凸轮的另一优点是其自润滑性。

用于商业机械的一个箱式-平面组合凸轮也用铁粉制造。这个双动作的凸轮用切削加工制造不合算，要得到必需的公差精度，粉末冶金法是唯一的方法。此凸轮除径向运动外，它每一转动还产生二次平行于轴的举升动作，其平直公差应保持在0.001吋。

恩特伍特电动打字机上的擦器凸轮将一冲头联杆的运动传递到钢印杆。以前，这些凸轮的制造要经过冲孔落料和制削以及开平底孔和电镀。粉末冶金法免除了这些加工工序，而仍能保持公差到0.0005吋，废品可忽略不计，并且节省了60%。

轴承 用一种新型的铁基成分 (主要是铁粉) 所制成的轴承与相当的多孔性青铜的相比较，其成本要低得多 (见图4)。其原因是组成材料的费用减少到四分之一。在实际运转条件下，经过广泛的试验指出铁基轴承运行情况与多孔青铜的相等。当没有腐蚀的情况下和机械强度要求并不严格时，它们能有利地运行 (见表4)。

其高的含油量保证了这种轴承可以充分供油，使得许多设备在其使用期限内有其自润滑性能。比起青铜轴承，它能经受长时期的高温，铁基轴承虽然它能与青铜轴承在高速运转下性能相匹敌，但在中等至重负荷范围用于较低的转速最有效。

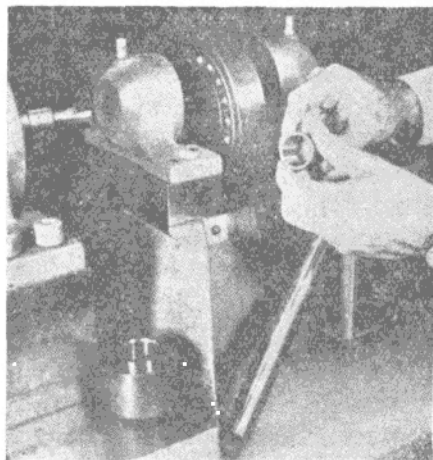


图4 在重负荷下运转若干小时后的铁基轴承，显示其内表面的少量磨损。转轴仍是原来的镜面光滑

表4 铁基轴承与多孔性青铜的物理性能的比较

性 能	铁基轴承	多孔青铜轴承
孔隙度，油的容积百分率	18~23	18~23
抗拉强度 (磅/吋 ²)	10,000	18,000
抗压屈服点 (磅/吋 ²)	9,500	20,000
硬度	Rh-35	Re-65
比重	6.1~6.5	6.4~6.7

电容器 在钽电容器中，其钽阳极是用具有一定纯度及一定粒度的金属粉末制成，以使制品能获得一精确控制的孔隙度，而给出所需的金属表面积。

电触头 粉末冶金可用于以金属混合物 (或金属与非金属的混合物) 制造所要求成分的电触头，它们不是真合金，如同钨-钼、铜-钨、银-钨、银-钼、银-石墨和银-氧化铝。粉末金属使许多组成成为可能，可以期望能结合高电导与抗电弧蚀，或者要具备不粘或不熔焊的性质。

电动机零件 用于转子、平衡锤和惯性零件的高密度材料 (如钨-铜-镍) 是用在小体积内需要很高的密度时。钨是一种很理想的材料，在所有金属中它有着最高的密度。可添加其他金属改进切削性能。

开关 考察了用于特种旋转开关的烧结材料并观察了其抗腐蚀性。一种 Cu-Ni-Sn 合金具有堪与当前应用的铍青铜相媲美的抗腐蚀性能。这种材料用在某些海军设备上开关中的定位装置,因此,这些材料,必须符合于严格的抗腐蚀性能的要求。研究的結果指出,在高湿度和标准盐雾試驗中,铁基烧结材料比以前所用的铝青铜硬模铸件抗腐蚀性较差。而在经济上,烧结材料优越于铸件,因此,宁愿选择这种有色金属烧结材料。

电子管 粉末金属块坯早已用来加工成制品,为电灯泡和电子管的制造家们所采用。这方面有代表性的制品是灯丝、栅极丝及通过硬质玻璃的玻璃-金属密封材料。钼用于灯泡中钼丝的心轴,也用作灯泡和电子管的支持线和电子管中的栅丝。

齿轮 有了新技术,改进的粉末、烧结炉和压机,粉末冶金很快地变成一种适用于在低得多的生产成本下制造具有精密公差、高强度和消震性好的重负荷结构零件的方法。粉末冶金齿轮在多种应用中,在很高的要求下工作,如洗衣机、商业机械、电剃刀等。

粉末冶金在设计上的重要优点在于零件的整体制造,当用别的方法加工时,这种零件就必须制成 2 个或多个分开的部件,整体制造就可以得到强度较高、运行平静和生产费用较低的结果。

由于切削损耗所产生的成本高的问题是赖威志公司的工程师们在制造用于可变空气电容器上的三个黄铜 48 径节渐开线齿轮中所特别关心的。虽然从块材切削做出这种齿轮能大量生产,但是仍转为采用粉末冶金法。工具和压模的初始投资对其所需产量(约每种 20,000)来说是低的,而且能免除切削损耗,这种黄铜齿轮可以在净省 25% 的情况下生产。整形后,齿轮的尺寸精度($+0.000 \sim -0.002$ 齿距公差)与机械加工的零件相同。

有几种形式的齿轮可以最经济地采用粉末冶金和机械加工的綜合加工方法来生产,即采用以粉末冶金法制成的尺寸正确的毛坯来切削制出齿形,同从整块金属材料用机械切削加工出全部齿轮来相比,可以节约甚多。每一毛坯的均一性意味着减少了装配及检查的时间及废品最少。

高强度齿轮可用粉末冶金浸渗的技术来制造。通用电气公司的自动洗衣机中原来进行机械加工的珠光体韧性铸铁的齿轮组件,已用四个高碳和以铜浸渗的铁粉齿轮(85,000 磅/吋²的抗拉强度)来代替。

在精密齿轮中,欲得到极高的强度,可采用电解铁粉用多次压制和烧结来达到极高的密度。渗碳至

深度 0.035 吋,能得到抗拉强度 140,000 磅/吋²,这种材料用于制造用在小型电动机上的和商业机械上的 I 类精密的细节距正齿轮。

用于控制空气调节器风门的两个特殊电动机采用了压制的金属齿轮(图 5)直接压制到轴的滚纹上。下面的数据指出,在粉末压制金属齿轮中比在标准的齿轮和铝壳中需要较大的转矩来使得从其轴的配合处扭开。

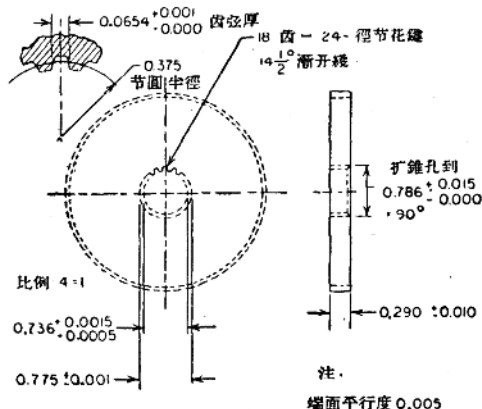


图 5 用于电动机轴的特殊齿轮设计

齿轮参数:

- 96 齿, 32 径节
- 1.498 ± 0.000 节圆半径
- 1.5292 ± 0.0010 顶圆半径
- 1.4584 ± 0.0010 根圆半径
- 0.0708 全齿深

组 合	扭轉軸的轉矩(呎-磅)
标准齿轮 #1	75
标准齿轮 #2	100
压制-金属齿轮 #1	160
压制-金属齿轮 #2	156

用粉末冶金法制的齿轮经得起磨损寿命試驗的条件和同轴的紧固結合,同以前用标准齿轮一样。有时压制的金属齿轮在非常条件下,显得更好一些。

粉末冶金方法的一些設計应用

断路器輔助开关的黄铜曲柄 黄铜曲柄是用于安装在 I-T-E* 电路断路器上的輔助开关中的一个零件。曲柄在方形轴的轴头上工作而这些轴头必須

* I-T-E 乃美国某公司名称。——譯者注

完全配合于曲柄的几个不同点的孔道中。用黄铜块材切削加工到所需的尺寸，价格昂贵而且其装配孔尚需钻出，用黄铜粉末烧结能得到如图所示的形状和尺寸，而不需切削加工，并且免除了钻孔的工序。从制造商取到这些曲柄后仅需在安装前镀铬。

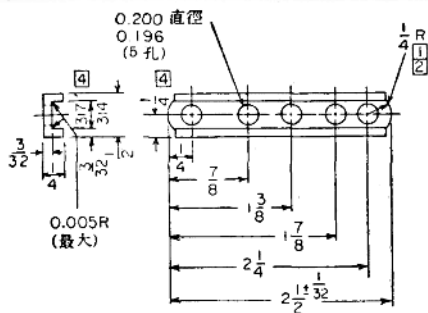
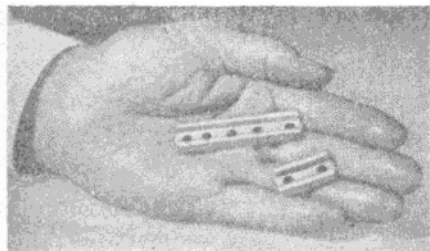


图6 辅助开关的黄铜曲柄*

电话机的调速器零件 如图7所示的三个零件，装配后作为调速器，在西方电气公司为贝尔系统制造的电话机中控制其中新设计的拨号盘的转动速度。虽然其形状需要比较复杂的工具，但结果比其

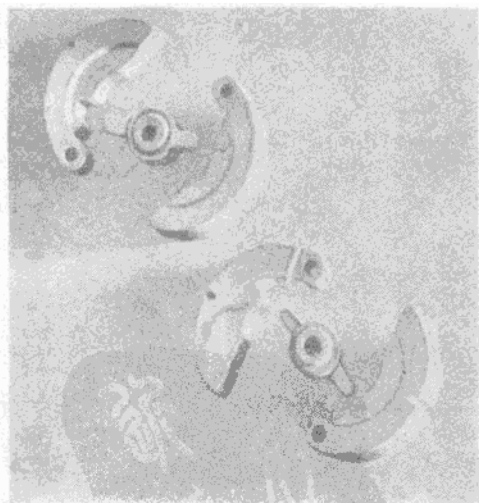


图7 电话机的调速零件

他加工方法仍节省得多，因为生产出完工光整的零件不再需要辅助工序。每套工具每小时1000件的生产速度，使更为经济。

雷达引入线法兰 用于从雷达天线连接引入线的法兰(图8)具有特别的要求：

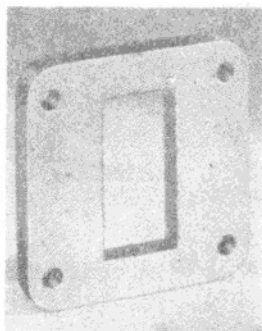


图8 雷达引入线法兰

矩形孔的长度尺寸必须正好是其短的尺寸的两倍。如用烧结，这种零件能从黄铜粉末大量地和精确地生产出来而没有切削损耗。其中四个孔和矩形孔是中空的。光整要求仅用轻微的去毛边已足够。以前的生产方法将一块锻材拉削和钻孔，就慢得多，而且还需要较长的光整时间。

飞机的回转变夹 在粉末冶金方法中，零件的尺寸能控制到如何精确呢？可以从图9所示的基尔福志飞机回转变夹(Kearfott aircraft gyro clamp)来说明。尺寸“A”的极限是 0.125 ± 0.005 吋。测量了50个样品，给出其尺寸范围为 $0.125 \sim 0.1266$ 吋——即在规定的公差内变动很小。尺寸“B”，规定为 0.145 ± 0.005 吋，用同上一批样品；实际上测得为 $0.1463 \sim 0.1485$ 吋——即比控制的限度更为紧密。尺寸“C”，测量结果为 $0.0911 \sim 0.0946$ 吋，这可与蓝图规定的限度 0.093 ± 0.003 吋相比。应用银-镍烧结来制造这个零件，能节省88%的费用。以前的用黄铜加工的方法有六道工序。

换能器 用粉末冶金法来制造磁致伸缩换能器和圆片式机械滤波器的共振元件时，可以精密控制机械Q值和热弹性系数(见图10)。

机械滤波器必须经受环境条件和电气试验。对于在军事上和商业上两方面的应用，滤波器必须制成能通过相等子或超过实际使用条件所规定的考验。为了保持在这代表性的工作温度 -40 到 $+85^{\circ}\text{C}$ 范围中的狭窄的带通公差，滤波器共振元件必须具

* 原文图6及图9位置有誤，現已改正。——譯者注

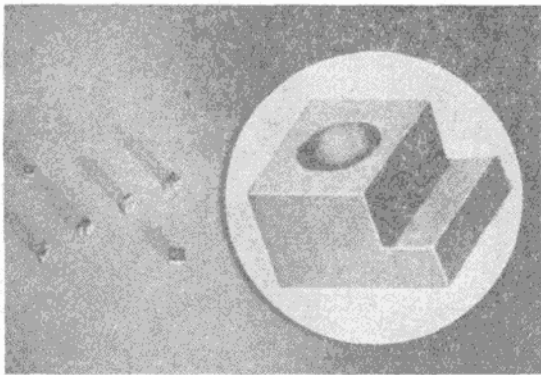
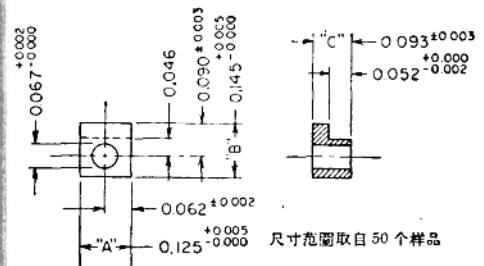


图9 飞机回轉儀夾



有高度的温度稳定性,它們还必须具有达 +6000 的机械 Q 值(即低阻尼的),以减少插入损失。

柯林无线电机公司最近的发展应用粉末冶金技术来制造共振器元件。用变化其烧结时间来达到平衡条件的方法来调整这种零件的频率的温度系数已成为可能。均一性的准确控制用一般的液体冶金是不可能的。期望于粉末冶金法的另一个特点是要更精密的控制化学组成。

用于频带较宽的机械滤波器换能器的合金必须有优良的磁致伸缩特性和低的温度漂移,对于宽带滤波端还需要具有低的机械 Q 值。这种合金是用精炼的电解金属制成,电解金属在保护气氛中于感应电炉中熔化、铸造、延轧和拉成丝。这种材料现在采用粉末冶金法制造,将烧结金属块经延轧再拉成丝。

用粉末冶金方法生产的换能器丝更为均匀一致,比用感应加热熔炼的材料具有更低的 Q 值。

大量的共振器元件曾用于机械中频带通滤波器。在许多的设计中,有三种类型最为普通。其一,应用一组平板借两根金属线结合在一起。另一类型,把一圆柱形杆加工成交替的凹颈和凸缘。第三类,是采用一组圆片,在其中心或在其圆周(或二者都有)用结合棒连接在一起(图 11)。

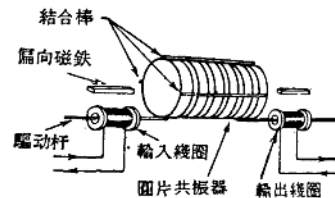


图 11 6-圓片式机械中頻滤波器

借一端的输入磁致伸缩换能器将电能转换为机械能,再借一组用长向结合棒结合在一起的圆片共振器来进行过滤,然后,从另一端以同一方式回复为电能。滤波器是一双向的网络。滤波器的中心频率取决于圆片尺寸。

制造中的经济性和特有的伸缩性的精密控制是从过去通用的圆片制造方法转变为粉末冶金方法时所期望做到的。现在,大量的工时化费在从 Ni-Span C 棒切割成圆片,以及化费在将其无心磨削和研磨至一定厚度。如果采用粉末冶金法来制造圆片,这些工序大部分可以免除。

(仲文治节译自《Electrical Manufacturing》

1960 年,第 65 卷,第 3 期,139~147 页。

張孟瑞校)

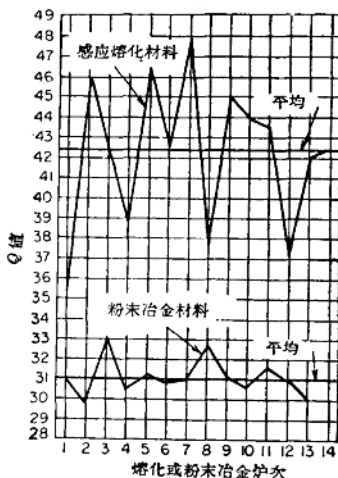


图 10 粉末冶金和感应加热熔化的换能器材料的 Q 值变化

粉末冶金材料在电气工业中的应用

Н. Ф. Вязников

С. С. Ермаков

用粉末冶金法可以制取为其他已有方法所难于制得或完全不可能制得的电工材料及合金。例如，互不相熔的金属所制成的各种合金：铜-钨、银-钨等，以及金属与非金属所制成的各种合金：铜-石墨、银-氧化锡等，这些合金在电气和无綫电技术中得到广泛的应用。

用粉末冶金法还可以制得成分精确的低阻抗和高阻抗合金等。

粉末冶金材料在电气和电真空工业中的应用

粉末冶金材料应用于电气和电真空工业中制造白熾灯和应用于X光管、阴极射线管、整流器和放大器、振荡管、二极管整流管和充气整流管中等。

例如，用粉末冶金法所制取的钨来制造普通照明电灯的熾热絲。此外，钨还应用于制造X光管、电子管、发射整流管的阴极等。通常，为此目的是采用钨与1~2%氧化钽的合金。此合金能經受高温，并具有优良的发射性能。

✓ 电真空器件在不要求高的工作温度时，制造元件可采用钼。钼是較輕的金属，比起钨来具有較高的塑性，因而用钼可以制得更薄的钼片、更細的钼絲和成型的零件。

✓ 钼在电气和电真空工业中主要应用于制造灯絲、以及支撑熾热絲和在水銀整流器、石英灯和水銀灯等中連結玻璃或者石英与金属用的鉤和环。

✓ 用钼还能制造发射电子管的栅极、无綫电接收设备的螺旋形栅极、阳极和屏极等。

但是，所有这些金属是很貴重的，并且难以加工。因此，为了制造电真空工业中的元件，經常采用极純的鉄和鉄基合金。

✓ 較多采用羰基法的純鉄粉，而較少采用电解法的純鉄粉。这些鉄粉用于制作各种器件的电极、电子管阳极，以及X光管的某些元件和离子器件的电极等。

經常采用的不是純鉄本身，而是它与镍、钨、钽

和銅的合金。

例如，鉄与镍、钨的合金(22%鉄，58%镍和20%钨)在500~800°C时的强度接近于純钨的强度，但它較易加工，因此完全可能用来代替钨制造电真空器件的耐热电器附件。

✓ 制取这种合金的原材料是羰基法镍粉和羰基法鉄粉，以及用氧化物还原所获得的钨粉。以适当比例准备好的混合料在3~4吨/厘米²的压力下压制、燒結，然后进行長時間的扩散退火。

此合金用来制造电子管的栅极、氧化物阴极的支撑网及其他元件。

鉄-镍合金的研究表明了，用粉末冶金法可以制得綫膨脹系数接近于玻璃的鉄-镍合金。例如，含45%镍(其余为鉄)的鉄-镍合金，它是在46公斤/毫米²的压力下压制、并在1,350°C时进行3小时燒結的(在3~5%剩余孔隙度的情况下)。这种合金在20~500°C的温度范围内具有平均綫膨脹系数为 $7.73 \sim 7.86 \times 10^{-6}$ ，而玻璃的綫膨脹系数为 $5.77 \sim 8.9 \times 10^{-6}$ 。

✓ 綫膨脹系数等于玻璃綫膨脹系数的这种合金可用于焊接无綫电真空管和电子管的玻璃。由于玻璃的种类和它的膨脹系数不同，为了焊接玻璃，还采用鉄与镍、钽的合金(23~27%Ni、17~30%Co、其余为鉄)和鉄与钨、銅的合金(5~20%Mo、1%Cu、其余为鉄)。

这些合金成功地应用于制造焊接到玻璃和陶瓷上的引入电极，以及焊接到玻璃上的其他真空器件的元件。

把輸入电极焊接到玻璃时，玻璃对电极金属的潤湿性很重要，因为优良的潤湿性能保証得到良好的真空密封。但是純金属表面很难被液体玻璃所潤湿，所以为了改善密封，在輸入端表面上采用金属氧化物薄膜的中間层。金属氧化物溶解于玻璃中，在过渡区内形成介壳玻璃，它能很好的与基体玻璃、电极材料焊接在一起。

固体吸气剂对真空技术具有重大的意义，它有强烈吸附气体的能力。

✓ 为了制造吸气剂，采用钨、钨、钽及稀土的中

間合金,即所謂“米什合金”。這些材料能溶解比金屬本身體積大幾百倍的气体。

吸氣劑或者制成致密片和絲的形式,或者呈復面层形式。復面层是將金屬(吸氣劑)的粉末塗在電極材料上,並進行真空燒結。吸氣劑經常是用蒸發法制得的。在這種情況下,用高频電流加熱該金屬的下层(通常是稀土金屬)而使其蒸發。

金屬蒸汽在冷卻時冷凝,並在整個低温帶沉積,特別是在燈壁上沉積,而形成所謂吸氣表面。這樣所獲得的大表面能吸附殘留气体。

制電熱元件用的粉末冶金材料

在工業中廣泛應用各種材料的電加熱法,這給生產工藝帶來了很大的變化。在工廠實踐中電爐的應用提高了技術水平,大大改善了所製造零件的質量等。粉末冶金材料在發展電加熱元件中起了很大的作用。

✓ 為了製造高溫電爐的加熱器採用難熔金屬,特別是採用鉬。

鉬在這方面的推廣,是由于在 $1,200^{\circ}\text{C}$ 下具有高强度、優良的導電性以及鉬絲單位表面上極高的單位負荷。例如,鎳鉻絲的最大負荷可達5瓦特/厘米²,半導體(硅合金)的最大負荷是23瓦特/厘米²而鉬的最大負荷則大於80瓦特/厘米²。

✓ 鉬具有較高的阻抗,它只用作在極高溫情況下(達 $3,000^{\circ}\text{C}$)工作的高溫設備的加熱元件。

鉬和鉬加熱器的最大缺點是它們在 $1,200^{\circ}\text{C}$ 下的易氧化性。因此,這種金屬所做的加熱器只能在真空中或在保護气体(氬氣、分解的氨氣等)中工作。

除難熔純金屬外,還用粉末冶金法製造特种抗氧化性合金,這些合金同樣廣泛應用於製造加熱元件。它們是鐵-鎳-鎳、鐵-鉻、鐵-鉻-鉍和鐵-鉻-鎳,以及含有5~10%鉍的其他合金。

✓ 近來,用粉末冶金法會製成能經受 $1,100^{\circ}\text{C}$ 的碳化物-鉍加熱元件,能經受 $1,300^{\circ}\text{C}$ 的碳化物-硅加熱元件和能經受 $1,600\sim 1,700^{\circ}\text{C}$ 的碳化物-氧化物加熱元件。

電觸頭材料

高壓在工業上的應用提出了製造相應的接觸裝置的必要性,這些接觸裝置要能順利地多次切斷達几十万伏特的電壓和几万安培電流強度的電流。

為了滿足這些要求,接觸裝置必須用難熔材料製造。這種材料應具有高導熱性和高導電性,高電蝕穩定性以及在高溫和衝擊負荷的條件下具有高强度和很小的粘結和粘附趨勢等。

只有用粉末冶金法才可能製取具備這些綜合性能的电触头材料。

粉末冶金电触头材料,按其成分是由高導電性金屬(例如銅、銀等)與具有高强度金屬(例如鎢)所組成的假合金。發電机的电刷和某些儀器是採用銅-石墨或銀-石墨粉末燒結材料,在這些制品中石墨是潤滑劑。

鎢具有高硬度和高溫強度,此外它產生火花的趨勢很小和具有高的抗電蝕性能,所以它是極好的电触头材料。但是,由于鎢在高溫下極易氧化及其導熱、導電性低,所以很少應用純鎢。因此,廣泛應用的是含30~70%鎢的銅-鎢合金和銀-鎢合金。在這些合金中鎢是保證硬度、強度和抗電蝕性能的,而銅或銀則是保證導電性和導熱性的。

在下表中列舉了一些最廣泛應用的电触头材料的化學成分和性能。

製造銅-鎢和銀-鎢触头材料時,採用高的壓制壓力(高於15噸/厘米²)。銅-鎢材料在 $1,100^{\circ}\text{C}$,而銀-鎢在 $1,000^{\circ}\text{C}$ 的氬氣介質中進行3~4小時燒結。

製造銅-鎢和銀-鎢触头材料時還常採用銅或銀浸滲用粗晶粒鎢粉燒結成的鎢骨架。

用浸滲法製造触头材料能保證獲得較好的性能,此外,還能加速製造過程和降低成本,因為在浸滲法中不必製備銅粉或銀粉。

銅在 $1,200^{\circ}\text{C}$,而銀在 $1,100^{\circ}\text{C}$ 進行浸滲。浸滲法的主要缺點是無法計算浸滲金屬的精確量。經常採用碳化鎢作為硬質和強度的基體,它在形成電弧時對電蝕是特別穩定的。在碳化物基触头材料中採用鉍、鐵、鉻、鎢、鉍做粘結劑。碳化鎢接觸器在電報繼電器上的應用,使發送速度從每分鐘140個符號提高到700個符號。碳化鎢-鎢触头材料還應用於製備真空轉換開關。

銀-氧化鎢、銀-鎢、銀-鉻、銀-鎳合金應用於製造巨大切斷接觸器。其中銀和氧化鎢的配合佔據顯著的地位。這些“合金”是一些在高負荷條件下(電壓達500伏特電流為幾百安培)最耐磨的和最抗焊合的材料。

* 米什合金(мишметал)有時也稱燧火合金。——譯者注

粉末冶金触头材料的化学成分和性能

材 料	化 学 成 分 (%)	布 氏 硬 度 H _B	密 度 (克/厘米 ³)	相对导电率 (以銀或銅 为 100%)	压缩强度极限 (公斤/毫米 ²)	应 用 范 围
鎢	W 100	350	14~17	30~35	150~250	点火器和交流电 的整流器
銅-鎢	W 30~70 Cu 70~30	70~100	10~13	85~95	80~140	接触焊接
鎢-銀-鎳	Ag 85~15 W 13~88 Ni 2	50~100	10~14	80~95	55~130	熄弧器
銀-氧化鎢	Ag 85~88 CdO 12~15	59~86	9.6~9.7	64~75	—	高负荷条件下的 接触器
銀-石墨	Ag 92 石墨 8	28~30	7~8	54~60	25~30	仪表的触头
銅-石墨	Cu 92~25 石墨 8~75	—	—	—	—	发电机和电动机 的电刷

用含 15% 氧化鎢的銀(OK15)所做成的接触器具有高的导电性、高的耐磨性、可塑性和良好的机械加工性能。

銀-石墨接触器具有高的导电性和抗焊合性。为了制造这种材料采用純銀粉和胶态石墨粉。

銅-石墨搭配的合金具有良好的接触和抗磨性，在制造发电机和电动机的电刷中得到广泛的应用。

石墨在滚动时能阻碍金属颗粒与轉子換向器的粘附和粘結，降低磨擦系数和磨損系数以及阻碍銅的氧化。

(姜永玉，周子年譯自 «Применение изделий порошковой металлургии в промышленности» 166~171 頁。孙茂科校)

仪器制造业粉末冶金零件的制造工段

В. Н. Клименко И. Д. Радомысельский 等

由軋材制造的仪器零件,要化費很多机床工时。制造这一类零件时,金属的利用率一般只有 20 ~ 50%,这是由于仪器零件的外形尺寸不大,形状复杂。用高效率的粉末冶金法制造仪器零件,能节省大量金属和减少劳动工时。

在乌克兰科学院粉末冶金和特种合金研究所的参加下在里沃夫地区建立了一个仪表制造业粉末冶金零件的生产工段。这一工段約生产 30 多种结构的和耐磨的粉末冶金零件。

工段的设备

在粉末金属零件工段中配备了所有的加工工序——混合料的制备、压制和燒結等设备。

配料采用非标准结构的混料机,它是由一根軸,軸上焊接螺紋杆,杆上裝有六个滾筒所組成。电力傳动裝置經過減速器以每分钟 2 轉的速度帶动此軸。

零件的压制,在工段里裝备有二台非标准型液压机,一台有可移动的工作台,压力为 30 吨,另一台压力为 50 吨,具有上压柱和独立的頂出器。对于需要較大压制压力的零件(这类零件不多),是利用主要用来压制塑料的 200 吨压机来进行压制。

零件的燒結或者用黃銅浸滲,是在 ПЭП-214А 型鉬絲電爐中進行。这类電爐在生产时,常由于鉬絲燒坏而不能使用,以致常常不能可靠地工作。

为了保証爐子能正常地工作,在爐子結構方面

作了一系列改进。經爐膛和爐衬中通入保护气体的平行供給代替了依次供給。此时爐衬中保护气体的消耗便大于爐膛中的消耗,这是为了保护鉬絲加热器,以免燒結时分离出来的含碳产物接触鉬絲。

在裝料室和卸料室提升之前,轉向与氮氣瓶隔离的单独管道中送风,这样就可避免工作爐膛中因保护气体的压力下降而吸入空气的可能性。

为了降低保护气体的消耗,減小了噴嘴和改变了安全閥的結構。因为在爐子工作时主要爐管加热到超过容許范围,故在爐子的裝料管上設置了附加的冷却器。

不論是燒結用,还是供給于爐衬中,都用分解氨作保护气氛。为了分解氨气,建立了專門的裝置,如图 1 所示。液态氨由氨瓶汽化后,进入廢气加热交换器(預热器),然后到分解爐。氨气在分解爐的两个蛇形管中,經過灼热的鉄屑(触媒)被加热而分解成氮气和氫气。由分解爐所获得的保护气体进入廢气加热交换器的蛇形管,然后在裝有 20% 硫酸溶液的瓶內通过,在硫酸溶液里,吸收了不完全分解时剩下的氨气。

继之,保护气体要通过裝有硅胶的干燥瓶,然后再进入爐內。为了保証 ПЭП-214А 型爐內充有足够的分解氨保护气体,以確保運轉过程中工作的安全和燒結爐气氛的稳定,而常常备有二套裝置。

經驗指出,气体在爐子工作最佳状况下(表 1),

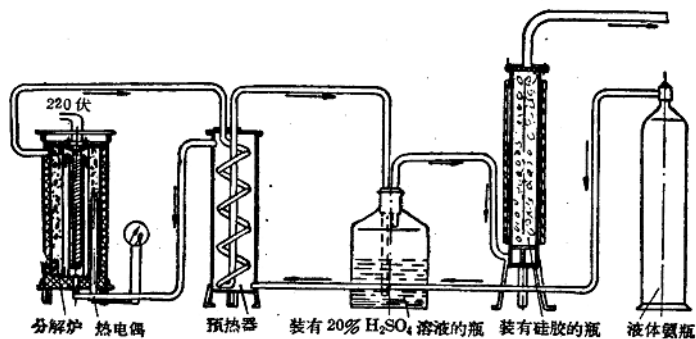


图 1 制取分解氨的裝置示意图

表1 U3П-214A 型电炉保护气体的通入状况

工 作 方 式	送 风*	烧 结	无 負 載 運 轉**
通入炉膛中的消耗 (升/小时)	800	300	200
通入炉衬中的消耗 (升/小时)	1,500	600	200

譯者注：* 送風——燒結爐在啟動加熱至達到燒結溫度階段，即應通入保護氣體。

*** 无负载运转——烧结炉仍继续加热,但无工件进行烧结时

一个容量为 40 升的液氮瓶能足够使用 60~70 工作小时。

分解氨是一种良好的廉价保护气氛。在工段条件下,一立方米分解氨气的成本为 40 戈比。

零件的用途和工艺过程

工段已掌握了三类粉末冶金零件的生产：铁粉中加入5%铜的结构零件，用黄铜浸渗法制得的铁-黄铜合金结构零件和含铜5%和石墨3%的铁粉耐磨衬套。

採用烏克蘭科學院粉末冶金和特种合金研究所試驗工廠製造的牌號為 АПЖМ-А 或牌號為 АМ 的鐵粉作為上述所有成份的主要組成物。

鉄-5% 鋼の結構零件 这种粉末冶金零件主要用来代替低碳鋼、低合金鋼和硬鋁零件。这些零件在仪表部件里常受到一定負載。例如制動件、調节件、支墊件和定中心的衬套、墊圈、支持盘和掣子等。

粉末金属零件的强度和一般金属零件不应有很大差异。它们应有良好的可加工性,因为这些零件中的大多数在以后要进行机械加工(如钻侧孔,切螺紋和1級、2級精度的表面加工)。

用鉄加5%銅組份所制的零件，其制造工艺由下面三个主要工序組成：

- 1) 配料;
- 2) 零件的压制;
- 3) 零件的燒結。

将原材料——铁粉 95% 和铜粉 5% 配料,在钢滚筒内进行混合。加入铜粉是为了得到强度较高的合金,和改善它的可加工性。此外,加入 5% 铜实际上可完全消除烧结时的收缩。

为了加速混合过程,炉料中添加有1.5%的50%甘油乙醇溶液。采用这种添加剂代替以前所用的机

油是出于如下观点：因机油在烧結过程中挥发所生炭黑将污染炉膛，并且炭黑碰着鉬絲会使其损坏，而且剩留的零件中的油焦化产品会促使生成片状珠光体，这就大大恶化了零件的可加工性。

甘油在燒結過程中也容易揮發，但揮發的氣態產物從爐中經過爐門火焰同保護氣體一起除去。甘油乙醇溶液同機油一樣，大大減輕了零件的壓制過程和增加了壓制工具的壽命。

在攪拌 20~30 分鐘以後,才能獲得足夠均勻的混合物,將這樣製成成的混合料送去压制。零件的压制在液壓機上用鋼制壓模進行。

在設計壓模時，會考慮到壓制設備的可能性。30 噸液壓機沒有頂出器，要用結構簡單的手工操作壓模。在壓制高度方向上有幾個台階的零件時，如用手工壓模，其壓制過程很為複雜。例如，壓制三個台階的衬套，要裝填三次稱量的粉末（圖 2），每一份倒入後，依次放入凸模（5, 6, 7），然後再進行壓制。

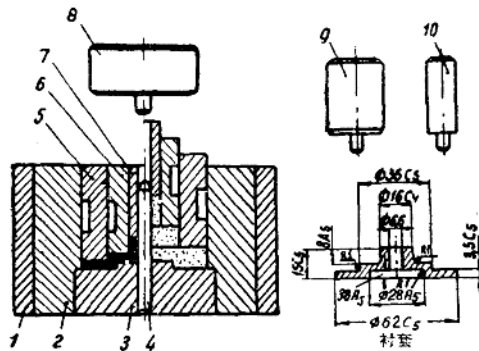


图2 三个台阶衬套的手动压模

压制成的毛坯从压模和凸模中取出，是靠零件 8、9、10，可是为了使毛坯从凸模 5、6 中推出，要把凸模挂在专门夹具的环槽中，然后吊起。

对于在 50 吨液压机上进行压制的这些零件,其固定压模的设计,依靠浮动的凹模,有二个独立的位置。零件从压模中压出是靠压机工作台上的顶出器。图 3 所示为压制圆锥齿轮的固定压模。

所有的压模規定压制到定位器以下。粉末秤量一般保証有 13~16% 的孔隙度。

为了使压制好的毛坯零件具有所需的强度，要进行热处理——烧结。为此，将这些零件分几层安置在钢制的舟形皿中。如分解氨没有完全干燥，则零件从炉中移到冷却器时，零件表面要发生氧化。为了避免这一现象，舟形皿中用氧化铝 (Al_2O_3) 填

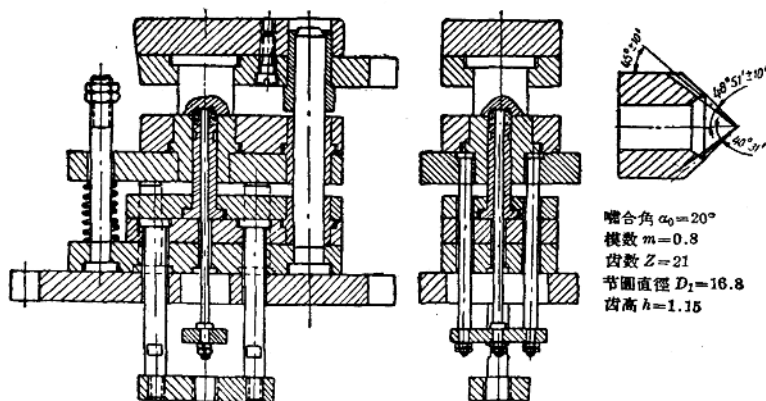


图3 圆锥齿轮的固定压模

充, 然后将它装入 IIЭИ-214A 型电炉中, 再自动地推入到炉子的工作带, 再依次进入冷却室。舟形皿的推动周期是这样选择的, 要使舟形皿在温度为 $1,120 \sim 1,150^{\circ}\text{C}$ 的炉子工作带中能经过 2.5 小时加热。在舟形皿的长度为 220 毫米时, 其推动周期为 40 分钟*。

烧结好的零件, 如有必要可再进行机械加工(钻孔、切螺纹等), 然后, 为了保证零件有必需的抗腐蚀性能, 零件还应处理。为了防腐蚀可以采用电镀的办法, 但是对于有这种孔隙度的零件电镀工艺是十分复杂的, 因为必须采取措施防止因电解液进入孔隙而发生内部腐蚀。

因此, 为了对这些零件进行电镀, 必需先用酚醛塑料或其它树脂浸渍, 然后清理, 只有在这种情况下, 才能进行电镀。

我们会采用一种简易的和便宜的防腐蚀方法, 就是将多孔的零件进行表面氧化发蓝处理。将零件在空气中加热到 $350 \sim 450^{\circ}\text{C}$, 然后在油中冷却 1 小时。经过这样处理的零件在相对湿度为 98% 和温度为 55°C 的“热带”室中经过 48 小时试验后, 没有发现腐蚀的痕迹。

这是由于经过热发蓝处理后, 不仅在零件的表面, 而且在零件内部小孔的表面形成了保护的氧化物薄膜。无以油的氧化物薄膜的饱和, 给予零件以高的保护特性。经过这样处理以后, 零件再送去装配。

铁-黄铜成份的结构零件 用铁-黄铜合金制造的零件用以代替合金钢零件, 黄铜和青铜零件。这主要是指一些要求有高的强度特性和耐磨性能或者要进行扩口的零件。属于这一类的零件有圆锥齿轮、轮毂、联接的盖板和一些衬套等等。

在用这种成份制造零件时, 也有基本的工艺过程(混料、压制和烧结), 仅仅在具体工艺参数(压制压力、烧结温度)上有些不同。但是在工艺方面也有些差异, 乃是由于零件系用浸渗法制成的。

将铁 95% 和铜 5% 的配料放在钢制滚筒中进行混合。按照前述材料同样的条件进行。在此情况下, 在混合物中加入铜, 是用来改善黄铜在铁粉压制件中的浸渗。

为了得到 20~22% 的孔隙度, 零件毛坯在 4~5 吨/厘米² 压力下压制。这种毛坯的浸渗是利用在加工黄铜 JC59-1 零件时所获得的黄铜切屑废料。

黄铜切屑先放在压模中压成必需形状的压块, 压制压力为 2~2.5 吨/厘米²。

将压制好的铁-黄铜毛坯排列在舟形皿中, 上面放置浸渗用的黄铜压块。黄铜压块最好放在以后要进行机械加工的表面上, 而且最好放在零件的凹处, 以避免熔化黄铜的流出。在浸渗小零件时, 将零件埋入氧化铝 (Al_2O_3) 中以防止黄铜压块在舟形皿推动时移动。此时必须注意在压制物和黄铜压块之间不要有异物落入。大零件在浸渗时, 黄铜压块应放在凹处。

将装好的舟形皿装在炉口, 推入温度为 $1,000 \sim 1,020^{\circ}\text{C}$ 的工作区, 推动周期 20 分钟, 以保证在所需的温度中有 1 小时左右的保温。

浸渗的零件, 如有必要可送去进行机械加工, 然后再进行保护或装饰性镀复。铁-黄铜零件可以顺利地任意电镀, 因为这种合金实际上没有孔隙度。应当指出, 很多种电镀工艺可大大简化, 因为它

* 烧结舟形皿推动周期应按炉子工作带的长度计算。——译者注

表2 粉末金属零件与金属零件成本的比较

零件名称	金属零件 的 材 料	金属零件每百 只 的 成 本 (卢布)	粉末金属零件 每百只的成本 (卢布)	成 本 的 降 低	
				卢 布	(%)
衬 套	黄 铜	55.80	13.09	42.71	77
齿 轮	2X13 号钢	11.32	5.32	6.00	53
衬 套	青 铜	10.36	3.88	6.48	63
滑 轮	青 铜	15.82	4.93	10.89	69
衬 套	2X13 号钢	8.79	6.29	2.50	29
滑 轮	2X13 号钢	11.07	5.20	5.87	53
衬 套	青 铜	13.61	3.04	10.57	78
滑 轮	黄 铜	41.46	15.10	26.36	64
衬 套	2X13 号钢	8.89	4.18	4.71	53
圆 环	10 号 钢	1.00	0.82	0.18	18
衬 套	青 铜	8.61	2.89	5.72	66
衬 套	20 号 钢	1.14	0.86	0.28	25
衬 套	青 铜	9.67	4.34	5.33	55
衬 套	20 号 钢	12.18	8.64	3.54	29
衬 套	硬 铝	19.70	8.96	10.74	55
衬 套	青 铜	10.36	3.88	6.48	63
衬 套	2X13 号钢	15.00	11.09	3.91	26
衬 套	硬 铝	15.74	8.22	7.52	49
衬 套	10 号 钢	26.93	11.93	15.00	56
衬 套	10 号 钢	26.93	14.89	12.04	45
盖 板	A12 号钢	3.27	2.53	0.74	23
衬 套	2X13 号钢	33.17	19.00	14.17	43