

中国机械工程学会 一九六二年全国粉末冶金学术会议 论文·选集

中国机械工程学会粉末冶金学会筹备委员会编

内部资料 注意保存

中国工业出版社

**中国机械工程学会
一九六二年全国粉末冶金学术会议
论文选集**

中国机械工程学会粉末冶金学会筹备委员会编

中国工业出版社

中国机械工程学会
一九六二年全国粉末冶金学术会议论文选集
中国机械工程学会粉末冶金学会筹备委员会编

*

机械工业出版社编辑部编辑（北京苏州胡同141号）
中国工业出版社出版（北京佟麟阁路丙10号）
（北京市书刊出版事业许可证出字第110号）

机械工业出版社印刷厂印刷
新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

*

开本 $787 \times 1092 \frac{1}{16}$ · 印张 $9 \frac{3}{4}$ · 字数 214,000
1964年10月北京第一版·1964年10月北京第一次印刷
印数 0,001—1,010 · 定价(科七)1.50元

*

统一书号: 15165 · 2971(一机-633)

序 言

中国机械工程学会和北京市机械工程学会于 1962 年 11 月 27 日到 12 月 2 日在北京联合召开了第一届全国粉末冶金学术會議。参加會議的有来自十二个省、市和第一机械工业部、第三机械工业部、农业机械部、冶金工业部、紡織工业部等七个中央部和中国科学院所屬单位的代表、論文作者、粉末冶金科学技术工作者，及北京市机械工程学会和有关領導部門的負責同志共約 120 人。

会上，交流了我国几年来粉末冶金的研究成果和生产应用的經驗，并分三組宣讀和討論了論文。这次會議共收到全国各地机械工程学会推荐的学术論文 65 篇。其中，有关粉末制取与檢驗方法的 11 篇；有关多孔性軸承与机械零件的 23 篇；有关难熔金屬与硬质合金的 18 篇；有关电工仪表材料和制品的 13 篇。

为了更广泛地交流粉末冶金的研究、生产和应用經驗，促进我国粉末冶金工业的迅速发展，根据會議决定，組織了論文編审委员会，負責論文的审选，汇编成論文集出版。

本論文集共有論文 15 篇，其內容包括下列几个方面：国外粉末冶金情况的介紹；粉末冶金理論的研究；硬质合金、鉄基零件、磁性材料、电触头材料及超細粉末的生产和研究。这 15 篇論文，对生产实践和科学研究均有参考价值。

由于选編人員的水平有限，錯誤之处，在所难免，尚祈讀者不吝指正，不胜感激。

目 录

序 言

国外粉末冶金工业现状及若干进展.....	1
燒結理論——溫度对燒結过程的影响.....	23
金屬陶瓷硬质合金生产中的几个主要质量問題.....	28
以未飽和 TiC-WC 固溶体制取 T15K6 合金的研究	52
鉄鎳作硬质合金粘結金屬的初步試驗.....	60
鎢鈷硬质合金中孔洞的产生原因和消除方法.....	66
起皮廢品的研究.....	79
燒結活塞环性能改进的探索.....	88
提高含油軸承压制整形生产率的途徑.....	98
粉末冶金密封圈的生产及使用.....	110
粉末冶金和磁性材料.....	117
具有低矯頑力的矩磁錳鎂鉄氧体的工艺研究.....	126
在熔融玻璃中燒結鋁鎳及鋁鎳鈷磁环的研究.....	131
浸漬法制备触头材料工艺研究.....	141
鎳的超細粉粒度分布.....	149

54470

国外粉末冶金工业现状及若干进展

第一机械工业部上海材料研究所 仲文治

摘 要

本文就下列四个方面阐述了国外粉末冶金工业现状及进展：（一）几个主要工业先进国家的粉末冶金概况；（二）铁粉与合金粉末；（三）高熔点金属与弥散强化型复合材料；（四）粉末冶金新工艺与发展大型制品方面的一些成就。

1910年W. D. 柯列奇发表了关于在室温具有延性的金属钨的制造方法，为以后灯泡工业的发展奠定了基础。如果把这一时期作为现代粉末冶金的开始，那末，现代粉末冶金到今天也只有五十多年的历史。粉末冶金这一门科学技术虽然是年轻的，进展却是惊人的。目前，在原子能工业、火箭、导弹、喷气机、宇宙航行以及遙测遙控技术……等尖端科学技术方面，粉末冶金解决了不少极重要的材料问题。不仅如此，粉末冶金现在也已被应用到任何一个工业部门。质地优良的或具有特殊性能的粉末冶金制品，已在汽车、拖拉机、动力机械、纺织机械、轻工业机械和仪器仪表制造中，以及在国民经济其他部门中发挥了提高生产率、节约原材料、和延长机器使用寿命的显著作用。

在国外，粉末冶金发展的过程是：在1910~1920年的十年中，首先建立起了钨、钼工业；在1920~1940年的二十年中，制成了铜钨、银钨等触头材料，组织了含油轴承、过滤器以及硬质合金的大量生产。含有粘结相的碳化物在1922年开始生产；而纯碳化物的烧结则早在1914年就已进行。

由于粉末冶金技术的进一步发展，发挥了粉末冶金制品无切削、少切削的优点，或者由于制品具有特殊性能，从而有可能代替一般金属切削加工来生产零件。用粉末冶金法生产机械零件不过十多年历史，大量发展还在近十年来的事。应该指出，烧结机械零件是近几年来在粉末冶金方面迅速发展的部门之一。

粉末冶金技术从一种可锻性钨的生产发展到现在那样繁复的工艺和制品，以至在粉末冶金科学技术领域中形成了分门别类的专门化。

在引述这些方面的情况时，由于搜集资料的局限性，反映问题必然是片面的。此外，国外发表的资料 and 情报，输入我国需要相当长的一段时间，由于科学技术发展的迅速，今天的实际情况可能较本文所报导的已发展了一大步。现在，我只能把国外粉末冶金工业现状，就能力所及略作介绍。

为了加速发展我国粉末冶金工业和开展科学技术研究工作，我想就以下四个方面来提供一些参考材料：（一）几个主要工业先进国家的粉末冶金概况；（二）关于铁粉及合金粉末；（三）高熔点金属和弥散强化型复合材料；（四）粉末冶金新工艺和向大型制品发展所取得的成就。

一 几个主要工业先进国家的粉末冶金概况

由于铁基粉末金属制品在整个粉末冶金工业中所占比重最大，发展亦较为晚，而且文

献方面所发表的统计和报导也较为具体一些, 因此, 本节在引述各国粉末冶金工业概况时, 比较着重于铁基粉末冶金的介绍。但铁基粉末冶金毕竟是粉末冶金领域的一部分, 以这局部的工业状况来代表整个粉末冶金现状, 显然是不全面的。为此, 在另外三节中所谈到的一些情况亦作为本节的补充。

一个国家的粉末冶金工业状况, 可以从它的粉末消耗量来推测, 但亦不尽然, 因为如果某一国家优先发展粉末冶金方面的特殊材料, 那末其所消耗的粉末数量就不一定很多, 而

表1 1959年西德发表的世界各国粉末按月消耗量

国 别	粉 末 按月消耗量(吨)	国 别	粉 末 按月消耗量(吨)
美 国	2500	捷 克	50
英 国	300	瑞 典	30
西 德	250	奥 地 利	15
法 国	180	阿 根 廷	15
德意志民 主共和国	90	波 兰	10
加 拿 大	80	比 利 时	10
苏 联	50	丹 麦	5
日 本	50	荷 兰	5

其粉末冶金技术水平可能是很高的。

现在, 不妨先从粉末的消耗量来比较一下各国的粉末冶金工业, 以得到一个大致的概念。据1959年西德Fachverband Pulvermetallurgie所发表的统计数字, 各国用于粉末冶金工业上的粉末月平均消耗量见表1^[1]。

表1内, 美国、英国有30%有色金属粉末包括在内, 而西德则有10~15%的包括在内。

应当指出, 关于各国的粉末消耗量以及粉末冶金制品的历年增长或产量, 各文献记载和报导有所出入, 本文在以后所引述的统计数字, 可能前后亦有略不符合之处。

(一) 美国

美国在二次大战前, 还只有五所专科学校和高等学校有粉末冶金课程, 而现在已有65个学校(85%)^[2]设有粉末冶金系或专业课程, 来大量地造就粉末冶金人材和使得一般工程设计人员具有粉末冶金的必要知识, 给发展粉末冶金创造有利的基本条件。英、美、日文献上都曾经这样提过: 近几年来, 粉末冶金机械零件之所以能迅速发展是由于: (1) 金属粉末的生产成本降低; (2) 高效率的、压力较大的粉末冶金专用压机的先后问世和压机结构的改进, 使得制造形状复杂的零件成为可能; (3) 工程设计人员对粉末冶金制品的特性和费用的低廉有了进一步的理解和认识, 从而使粉末冶金制品获得更广泛的应用。美国纽约金属粉末协会是美国粉末冶金方面公开活动而具有一定规模的组织, 它的成员中不仅有金属粉末制造厂和粉末冶金制品厂的人员, 还有粉末冶金专用设备制造厂和销售公司的人员, 而且还有外国会员。他们每年举行一次年会, 并且按月出版报导分送会员, 协会还制订了有关粉末冶金的M. P. A. 标准。

美国现有粉末冶金工厂和企业约190家, 其中最小的工厂只有2个人, 最大的企业则多至2000~3000人, 这些工厂中包括那些附属于大企业的粉末冶金工厂在内。据初步统计, 美国这些粉末冶金工厂的厂龄少于5年的占38.9%, 在5~10年的约22.2%^[3]。由此可知, 美国的粉末冶金工业在近十年来的增长颇为可观。这些工厂总共约拥有1650台压机和916台整形压机, 至少有499台烧结炉及504台保护气体发生装置^[4]。其中规模较大的American Co. 配备有极庞大的3000吨压机, 用于制造截面达600~1500厘米²的零件。此外, Chrysler Corporation Parts Division 的两个研究所各有粉末冶金研究室, 附属的Amplex-Division 粉末冶金工厂则有数十台排成一系列的自动化压机和可以压制直

徑为 18 英寸的軸承的 3000 吨液压机。这些企业中，比較大一些的都有實驗室和模具制造車間，几乎所有的粉末冶金工厂在不同程度上都采用了鑲嵌硬质合金的压模，平均約为 55%。紐約州的通用电气研究實驗室 (General Electric Research Laboratory)，新澤綏州的拜耳电话公司實驗室 (Bell Telephone Laboratories, Inc.)，雪尔凡尼亚电气产品公司 (Sylvania Electric Products, Inc.) 等单位或多或少地都在进行粉末冶金研究工作。例如，雪尔凡尼亚电气产品公司对于燒結机理一直进行着研究，研究室里也有生产用的粉末軋机，进行鎳粉的連續軋制和燒結。

美国的这些粉末冶金工厂的产量，据报导，1959年在市上銷售的粉末金属零件为数达 8 亿 7 千万件，那些企业附屬厂的产品尚不計在內。这还是一班制的情況下，实际生产能力当为加倍而有余^[5]。另一报导說，在美国粉末冶金制品中，仅仅机械零件与含油軸承一年的产值即达 1 亿美元，其他粉末冶金制品还不包括在內。

再从美国鉄粉消耗量来衡量其粉末冶金工业发展状况。1959年美国的鉄粉消耗量总数約为 3 万 8 千吨。

从表 2 可知，半数以上的鉄粉是用于生产粉末冶金零件。至于銅粉的消耗量，1960年約为 2 万 5 千吨^[6]。

从表 2 中，我們尚可看出最近十一年美国鉄粉用途比例的变动。

表 2 1949~1959美国鉄粉用量及用途一覽

鉄粉用途	历年鉄粉消耗量 (吨)										
	1949	1950	1951	1952	1953	1954	1955	1956	1957	1958	1959
粉末冶金零件	2000	2000	2500	2500	3000	3000	10000	8000	12000	10000	18000
电子工业及磁性材料	1000	1700	1000	700	1500	1000	1100	1100	1000	1500	1500
焊条及氧熔切割	0	0	0	1000	1000	8000	13000	16000	13000	14000	18000

从表 2 可以看出：

(1) 1949年美国的粉末金属零件用量还只有 2000 吨，但到 1959 年这十年內增长了九倍，尤其是在 1959 年增长最为迅速。

(2) 鉄粉用于电子工业及磁性材料的变动不大。

(3) 此外，鉄粉在焊条和氧熔剂切割方面的应用，在近十年来有飞跃的发展。这虽然是属于焊接和切割方面的，但它促进了鉄粉工业的发展，有利于粉末冶金的开展，是值得引起注意的。

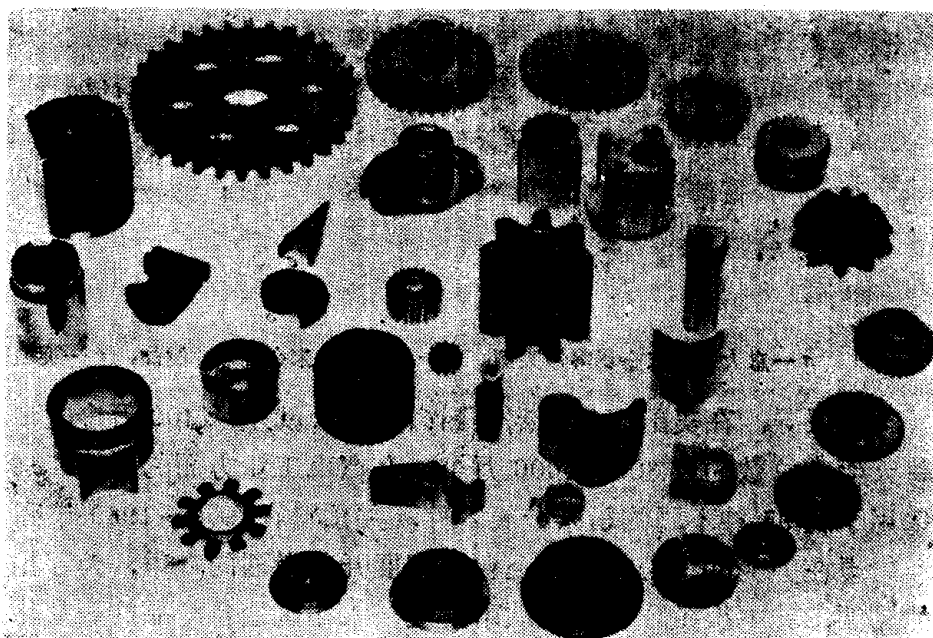


图 1 粉末金属零件。

現对这些粉末金属零件的用途略作简介，粉末燒結零件的用途：汽車与拖拉机工业、农业机械、紡織机械、軍械武器、电子仪器、通訊設備、縫紉机、烹調器、电冰箱、洗滌机等家用設備、打字机、計算机等商业机械，其次为航空机械、建筑机械、船用机械、电机、引擎、照像机、光学仪器、医疗器械、助听器及記錄器械、計时及時間控制設備，以及小至钟表、打火机、玩具、体育用具和飾物鑲嵌等，簡直到处可用。图1至图5照片所示为国外常用的粉末金属零件的一部分。

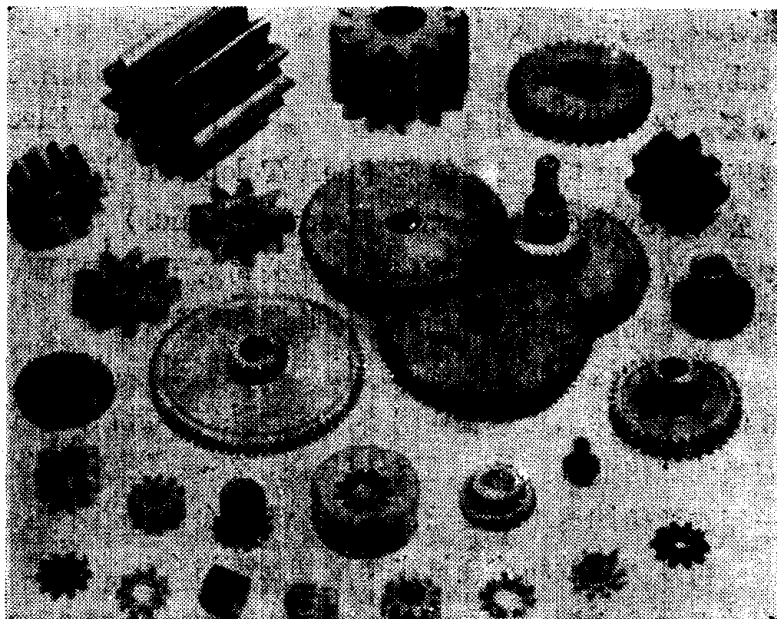


图2 粉末金属齒輪。

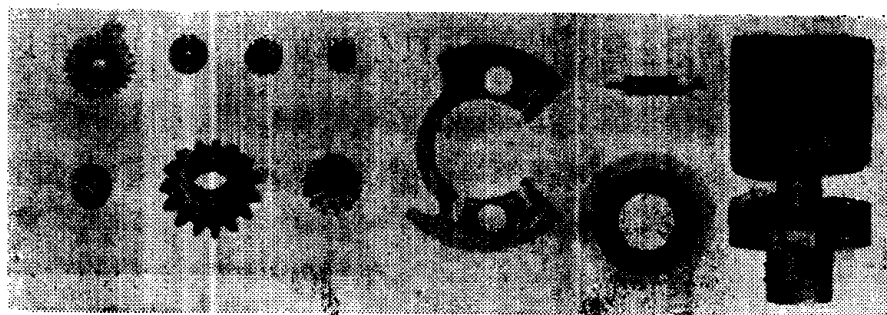


图3

a—意大利粉末金属零件实例；b—瑞典的粉末金属零件制品；c—英国的粉末金属零件制品。

据报导，在美国仅仅粉末金属齒輪每天就生产100万个之多，而含油軸承在世界各国每天生产总数約为800~1000万个。在汽車工业方面的应用，1959年美国克雷斯勒汽車上采用了約95种不同的粉末金属零件，并預料在1959~1969年間可望增加200%^[7]。

現在美国許多粉末冶金企业之間展开着激烈的竞争，为了推銷产品和滿足用戶多方面的需要，其中很多公司正在从事改进技术和創造新产品的研究活动。目前，美国的私营企业在粉末冶金方面每年支出了250~300万美元作为研究補助費，同时作为开发宇宙的一个

环节，对有关粉末冶金的研究工作支出了 50 万美元。

在美国另外一个迅速发展的领域，是金属粉末的直接連續軋制和燒結制成型材。同时，各粉末冶金企业也在大力支持发展粉末成型的新工艺如軋制、粉末挤压、等静压制、爆炸成型等，以及研究新型材料如弥散强化型材料、氧化物-金属复合材料和复合粉末等。关于这些，后面将提到。

(二) 苏联

苏联的材料科学家们，正在努力探索新的合金系统和加工方法。实际生产工作的发展远胜于基本理论的研究。他们十分细致地选择研究的路线，以期迅速地取得成果，并且从西方的文献、设备、加工方法中选择适合于苏联本国的经济发展所需要的项目。

近十多年来，苏联的粉末冶金工业也得到了迅速发展，许多科学研究机构中都设有粉末冶金研究部门，如中央机器制造工艺科学研究院、中央黑色冶金研究院、莫斯科电工科学研究院、汽车工业科学研究院、航空材料科学研究院、苏联科学院巴依科夫冶金研究所等。哈尔科夫国立大学、基辅国立大学、高尔基综合技术学院、莫斯科钢铁学院、莫斯科有色金属黄金学院等高等院校，皆有著名学者从事粉末冶

金的理论研究与发展工作。伏尔加格勒拖拉机厂、明斯克拖拉机厂、拉普泽夫煤炭机械制造厂、高尔基汽车制造厂、乌拉尔电动机厂、电触头厂、电碳厂、莫斯科灯泡厂、莫斯科第 8 机械劳动组合等都设有粉末冶金车间或工段，制造各种粉末冶金制品。此外，还建立了专业研究所与工厂，如全苏硬质合金科学研究院、乌克兰科学院粉末冶金与特种合金研究所、莫斯科粉末冶金试验工厂和基辅粉末冶金厂等。基辅粉末冶金厂是全苏第一个大型专业厂，占地面积达 30 万平方米，预计 1962 年投入生产。

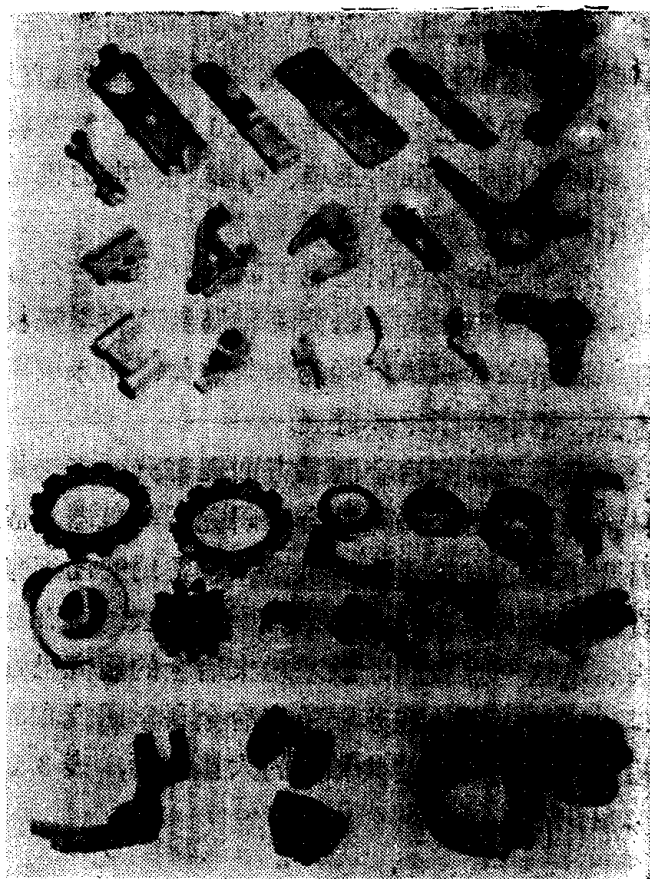


图 4 美国生产的粉末金属机械零件。

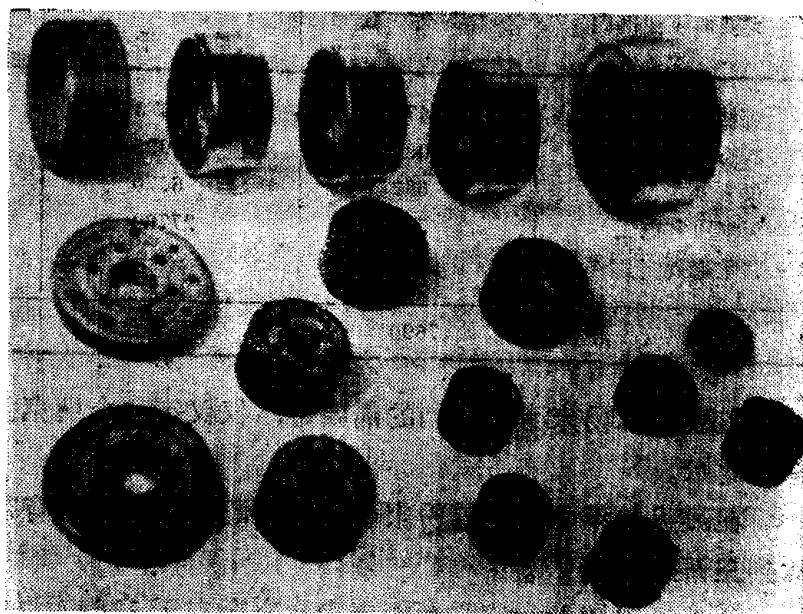


图 5

近十年来, 粉末冶金鉄基制品的研究、生产与使用, 在苏联发展迅速。如拉普澤夫煤炭机械制造厂粉末冶金車間, 自 1951 年建立以来, 煤炭皮带运输机托輥用鉄基含油軸套的产量, 1960 年已达到了年产 300 万个。鉄基粉末零件在航空、汽車、拖拉机、农业机械、金属切削机床、铁路車輛、軋鋼机、电力機車、电机、仪器仪表、电影机、台扇、鎖等机件中都找到了应用。

用粉末冶金法制造电工制品, 如永磁合金、电触头、整流片、集流环等引起了广泛兴趣。莫斯科电工科学研究院和乌克兰科学院粉末冶金与特种合金研究所, 在燒結鋁鎳鈷合金、微粉永久磁体、錳鋁永久磁体、粉末坡莫合金, 高压与低压以及特种的触头材料研究方面, 都取得了重要进展。

苏联在粉末冶金制品方面經常分門別类地举行經驗交流會議, 于 1960 年 8 月在乌克兰科学院粉末冶金和特种合金研究所与机器和设备工业的科学技术协会联合主持下, 在基輔召开了第三次关于生产机器和设备用的粉末金属零件的經驗交流会。1958 年第二次會議所宣讀的論文, 主要来自研究所的代表, 而在第三次會議中則有二分之一的論文来自工厂代表。从这一点表明, 鉄基粉末冶金的研究已逐渐扩展深入到工厂中。

1960 年底, 在苏联粉末冶金科学研究和設計工作协调委员会第二次會議上指出了粉末冶金制品在乌克兰共和国的大量需要, 表 3 表明了乌克兰共和国对粉末冶金制品每年的需要量^[8]。

表 3

需要的工业部門	零 件 数	每年的需要量 (单位: 千个)	粉末制品的重量和百分数	
			吨	%
机械制造	5472	124873	18322	90.9
冶金	1009	1925	572	2.8
仪表制造	682	6670	286	1.4
无线电和电工	527	27769	978	4.6
其他需要	—	—	60	0.3
总 計	7690	161277	20218	100

上表所示粉末冶金制品的需要量, 仅仅是一个乌克兰共和国, 而全苏的需要量当远远超过此数。

在最近七年中, 全苏粉末金属零件的产量預計将有很大的增长, 1965 年的計劃产量将达到三万五千吨^[9]。

此外, 据統計, 苏联《粉末冶金》杂志于 1962 年发表的 95 篇論文中, 高熔点金属与合金的研究达 31 篇。近几年来, 对元素周期表 IV、V、VI 族元素的碳化物、氧化物、氮化物、硼化物、硅化物的结构、性能及应用进行了广泛深入的研究。关于这些方面, 将在后面提到。

根据苏联的文献及其在核能工业、人造卫星等各方面的科学成就, 均可推断苏联在粉末冶金的应用和理論研究上有了异常迅速和高度的进展。

(三) 日本

日本工业一向发达, 对国外新技术和新产品反应十分敏感, 仿造试制, 行动迅速是其特色。粉末冶金在日本亦不例外。当 1910 年 W. D. 柯列奇制出第一批钨丝用于灯泡后, 日本东京电气公司就指派技术人员到美国奇异电器公司学习。1915 年日本就开始自己制造钨丝。同样, 硬质合金于 1926 年在德国克虏伯厂制成后, 时隔 4~5 年, 日本东芝和住友两家工厂就开始生产硬质合金。日本的现代粉末冶金工业就从此开始, 到现在也有了近五十

年的历史。到 1958 年, 日本 20 名工人以上的粉末冶金工厂已有 38 家。关于日本在近十年来的粉末冶金制品发展概况, 参见表 4 及图 6。

表 4 1951~1959 年日本粉末冶金制品
生产统计 [10, 11]

制 品 种 类	年 产 量 (公 斤)		
	1951	1957	1959
轴承(铁基)	22279	200331	264522
(铜基)		323352	404120
环类(リンダ)	—	89414	98462
烧结齿轮	—	1064	16580
其他机械零件(铁基)	0	13667	201272
(铜基)	0	5025	18147
(其他)	0	120	—
硬质合金	41900	192201	208004
磁性材料(包括永磁材料)	32777	521452	1822761
电 刷	16637	79521	95606
触头材料	4224	24956	33611
电子管及灯泡材料	21620	49279	71733
过滤器等	0	502	44
摩擦材料	67	3684	50633
其 他	0	1	286
总产量	139504	1526206	3285781

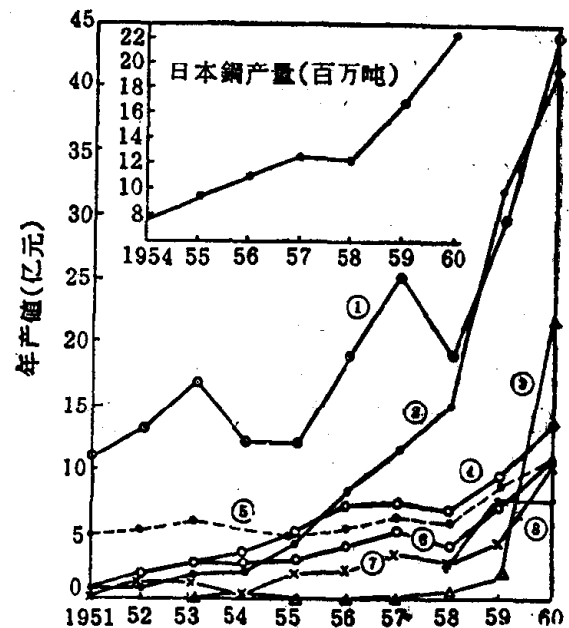


图 6 1951~1960 年日本粉末冶金制品增长量
和钢的增长量的比较 [12]。

①—硬质合金刀片; ②—铁氧体; ③—烧结机械零件;
④—轴承; ⑤—灯泡及电子管材料; ⑥—电触头;
⑦—其他; ⑧—磁性材料。

表 4 和图 6 表明日本的粉末冶金发展情况如下:

(1) 从 1951 年到 1959 年的九年时间内, 粉末冶金制品的总产量约增长二十多倍。到 1959 年总产量约为 3300 吨。

(2) 表 4 所列十二类粉末冶金制品, 其中轴承、硬质合金、磁性材料、电刷、触头材料、电子管及灯泡材料和摩擦材料是属于早一时期发展的品种, 也就是只有用粉末冶金技术才能制造的特殊材料。

(3) 从图 6 看出, 随着日本钢铁工业的发展, 硬质合金的需要量激增。由于日本电子工业的迅速发展, 也促进了铁氧体磁性材料的大量生产。

(4) 烧结机械零件在日本则是后来生产的, 约在 1953 年开始生产, 1957 年起有了飞跃的进展。

作者尚未找到关于日本 1961 粉末冶金生产报导，但根据不完全的资料，1960 年 4~6 月份日本的粉末制品总产量为 1127219 公斤，以此估计全年的产量，应为 4500 吨。果然如此，那末 1960 年比 1959 年增产 50%。从图 7 亦可看到，日本在 1960 年的粉末冶金各类产品的产值比 1959 年都有不同程度的增长，尤其值得注意的是，烧结机械零件、硬质合金和铁氧体三种产品。

(四) 欧洲-英国

在欧洲，粉末冶金作为大量生产的方法，在最近五年有了很大的发展。用于烧结轴承及零件的铁粉消耗量每年平均增长 25~30%。如表 5 所示，在 1956~1957 年之间增长较慢，而在最近三年有了较快的增长。如同上述，增长原因在于工程设计部门消除了对于烧结材料的怀疑和顾虑，这是由于粉末冶金制造部门的推销人员进行了大量的工作所获得的结果。

表 5 1951~1960 年欧洲烧结铁和
烧结钢的产量^[5]

年 份	1951	1957	1959	1960
粉末冶金制品(吨)	2000	5000	8400	11400

1955 年之后，欧洲的几家压机制造商，开始供应高级粉末专用压机。以往欧洲在粉末压制方面，主要从压制工具设计上解决压制技术问题，但当压机改进之后，压制的工具也就简化了。

在欧洲，为了降低汽车、机器脚踏车等生产成本，各类零件尽量用粉末金属制品来代替。如意大利的一种机器脚踏车，已有 32 种粉末冶金零件。德国的国民牌汽车零件换用粉末冶金零件的亦不在少数。

英国每年大约使用 1200~1500 吨铁粉和同等数量的铜粉；每年生产约 2 亿个工程零件，主要用于汽车上及家庭用具上，军械上也采用了若干粉末零件^[13]。两年之前还未完善的制造铁粉的雾化法，现在已能提供产品。对最近发展的合金钢粉亦感到特别有兴趣。目前，趋向于采用更纯的保护气氛、真空烧结或最新的活化烧结来大量生产零件。由于各工业部门对现有合金材料的需要量增大和烧结零件的强度增高，所以，应用将更为广泛。对于粉末轧制，特别有兴趣，很多有关人员正努力于发展生产铜、铝、镍及其合金的薄板和棒材等。另外还有一种新的方法，即纤维冶金，用来制造网式过滤器及其他独特的、具有强度和给定孔隙度的材料。

(五) 德意志民主共和国及西德

德国在二次大战前夕和大战期间，曾建立起一个烧结铁的粉末冶金工厂，主要生产弹带。以后生产多孔性烧结铁和含油轴承。当时铁粉最高需用量每月约为 4000 余吨。战后，该厂改为生产一般机械和仪器零件，但是生产是有一定限制的。

德意志民主共和国对于粉末冶金的基本理论研究和工艺应用两方面都很重视，特别是关于硬质合金和高熔点金属的生产工艺。应该指出，由于德国在二次世界大战期间和战后的若干年中，它们的研究工作只允许在一定范围内进行，因此，粉末冶金技术的进展受到了一定限制。

尹默尔邦硬质合金厂以生产硬质合金为主，并曾研究以铁镍代钴作为硬质合金的粘结剂，也研究发展碳化钛基和氧化铝基硬质合金，以及碳化钛金属陶瓷材料。在这里也生产

鋁鎳鈷永磁合金。关于高温金属陶瓷材料在德意志民主共和国亦有許多研究机构在研究。

国营柏林灯泡厂，則主要生产和研究鎢及鉬的制品和电触头材料。粉末冶金所需要的鉄粉，德国以前采用成本較高的哈密塔克方法生产，而后来趋向于噴霧法。国营太勒鋼鉄厂便是生产噴霧鉄粉的，現在已能满足本国需要的大部分，并且該厂将在短期內加以扩建。更进一步的发展，将是研究和生产合金鋼粉末和有色金属粉末。此外，对于有色金属含油軸承、金属过滤器以及摩擦材料也感到兴趣。

德意志民主共和国的特雷斯頓特殊金属材料研究所是属于柏林德国科学研究院的，在那里也进行一些粉末冶金基本理論和粉末冶金工艺的研究，如噴霧鉄粉、微細金属粉末的制备与性能等。

目前，燒結鉄工厂在德意志民主共和国有两个，在西德有八个。西德的粉末冶金厂，其規模較大者有：Sintermetall-Werke 和 V. D. M.。前者在西德最大，月产超过 100 吨。Fried, Krupp Widia-Fabrik 于 1926 年首先生产硬质合金。在該厂中，专门生产碳化鎢制品的車間，备有成百台的还原鎢粉用的旋轉炉。碳化均用鉬絲炉，而燒結时，則鉬絲炉与真空炉并用。該厂既生产刀片也生产模子，还有其他各种特殊产品，种类繁多，如陶瓷刀片、鋁鎳鈷、鉄氧体磁性材料等，并利用电弧熔融来制造鈦的板材和管材。該厂于 1957 年又建成新型研究所^[14]。

Simetag 工厂以制造鋼管聞名世界，并用噴霧法生产鉄粉和合金鋼粉。1959 年度鉄粉的月产量为 550 吨，而且还生产粉末冶金用压机，压力机制造的規模相当龐大，在欧洲也很有名，并設有研究所，从事研究粉末冶金制品。該厂生产鉄粉的原料，是利用鋼管两端的边料和炼鋼炉用剩的碳电极的余料^[15]。

(六) 奥地利

普兰西金属工厂 (Metallwerk Plansee A. G.) 是奥地利的粉末冶金中心，在三十余年前，由雪瓦尔滋可夫 (P. Schwarzkopf) 博士創立，至今聞名全球^[14]。1952 年以来，每隔三年在这里召开国际性普兰西学术會議 (Plansee Seminar)。首次會議提出了 38 篇报告，內容涉及較广；第二次會議是 1955 年召开的，其学术报告范围限于耐热、耐腐蝕的燒結材料，而第三次會議則在 1958 年举行，有 15 个国家参加，人数超过 400 名，討論范围涉及高熔点金属的制造、特性和应用等方面。最近的第四次會議在 1961 年召开，其內容被称之为《核能时代的粉末冶金》。普兰西金属工厂共有 1130 人，其中有专家 55 人，有几个是世界聞名的。全厂生产分为两大部分：其一，为硬质合金車間；另一，为从事其他粉末冶金材料的生产。該厂产品品种繁多，例如：鎢絲、鎢片，用鎢加工而成的螺絲、棒、X-射綫靶、鉬絲、片、棒及条板，鈦、鋳、鉍等的片材和棒材，鉄基机械零件，含油軸承，磁性材料，硬质合金，金剛石割刀，电触头，重金属，CR 合金等，凡屬粉末冶金制品的几乎应有尽有。

在生产設備方面装备有龐大的 3000 吨压机。在奥地利尚有其他粉末冶金研究部門，在此不再多述。

(七) 捷克斯洛伐克

捷克斯洛伐克^[16]早在 1931~1932 年已有生产硬质合金的工厂《Poldi-Hütte》，在二次大战期间，开始生产烧结零件和电触头材料。战后最初几年，为了进一步发展，建立了粉末冶金研究所。到 1950~1954 年间，又增设了几个工厂，制造含油轴承、触头、硬质合金、烧结钢零件，以及钨、钼的半成品。1955~1960 年，即捷克第二个五年计划时期，粉末冶金制品在原有基础上增加了 3~4 倍，而且增加了新的制品，如烧结青铜过滤器、摩擦材料等。在此时期还进行了较多有关粉末冶金的研究工作，使得在 1961~1965 年有可能再往前发展一步，如铁粉生产的经济方法，纤维冶金、轻金属的粉末冶金，烧结高温材料和高熔点金属合金。1961~1965 年粉末冶金制品的生产将增长 70%。此外，上述粉末冶金研究所还出版了期刊《粉末冶金研究所技术报告》(Technické zprávy VÚPM)。

二 关于铁粉及合金粉末

(一) 铁粉

关于粉末的生产，我想着重地谈一谈铁粉方面的问题，因为粉末冶金工业上所应用的粉末品种繁多，而其中以铁粉的需要量为最大。我国在铁粉的供求问题上，没有得到很好的解决，给粉末冶金的发展带来了一些困难。为此，有必要对国外的铁粉生产现状给予简单的介绍。

前面曾经提到了关于美国近年来所消耗的鉄粉量，苏联在粉末冶金工业上所需鉄粉的比重亦是如此。如在 1960 年年底，在莫斯科召开的“粉末冶金研究和设计工作协调委员会第二次会议”上所提出的，乌克兰共和国于 1961 年所需要的二万五千吨金属粉末，其品种数量比例如表 6 所载。

表 6 1961 年乌克兰共和国粉末需要量

粉 末 品 种	需 要 量 (吨)
鉄粉	18000
銅粉	1000
鋁粉	1000
黃銅粉	1000
青銅粉	2000
难熔化合物粉末	1000
其他合金粉末	1000
总 計	25000

表 6 指出，苏联在粉末冶金工业上所需各种粉末中，根据其发展，以鉄粉末需要量最为突出。

众所周知，金属粉末的价格直接影响到粉末冶金工业的发展，尤其是如鉄粉这样的普通金属粉末。只有当鉄粉的价格接近于一般钢材的价格时，用粉末冶金方法来生产各种机械零件，才有发展前途。苏联乌克兰苏林冶金工厂所生产的鉄粉价格每吨约为 1000 卢布；美国的还原鉄粉价格为每磅美金 11.50 分，约为铸造生鉄价格的 4 倍（每磅 3.02 分），约为钢材的 2 倍（每磅 6.196 分）。而我国生产的还原鉄粉，目前售价一般为每公斤人民币 4~5 元。

鉄粉的生产成本决定于其生产方法、生产规模、装备的现代化，以及工厂管理的科学化。

制造海绵鉄粉的瑞典赫格纳斯法 (Höganäs Process) 是大家所熟悉的，无需再加详述。这个方法虽然很老，但到现在仍是属于主要的鉄粉生产方法之一。多年来，外国工厂

对生产设备、工艺和管理方面不断予以改进，使古老的赫格纳斯方法变成了现代化的生产方法。早在1930年，瑞典的赫格纳斯工厂已具有年产铁粉 15000 吨的生产能力。之后，赫格纳斯公司为了满足美国铁粉的庞大需要，又在美国列佛顿 (Riverton, New Jersey) 建立了生产能力为年产 30000 ~ 40000 吨铁粉的工厂。实际产量据1959年度瑞典发表的数字为 28000 吨，美国新建厂发表的数字为 24000 吨，占世界铁粉总产量的 55% 以上^[15]。在美国的新建厂，其主要的设备是两座长达 565 英尺的用天然气加热的隧道式还原炉，由于操作的高度机械化，如此庞大的一个工厂，仅需33个劳动力^[17]。所用的原料，多数采用瑞典的含铁71%的矿砂，还原剂则用从美国维基尼亚州所产含灰分5%的高纯度煤所炼成的焦炭。

苏联乌克兰苏林冶金工厂也采用赫格纳斯法制造铁粉，其年产量将达到4500吨。

德国 R. Z. 法 (Roheisenzunder) 以及美国和法国的 Mannesmann 法都是属于喷雾法一类。早在1942年，德国 G. 纳赛尔 (Dr. G. Naeser) 发明了 R. Z. 法制造铁粉。在二次世界大战期间，法西斯德国缺乏极重要的战略物资——铜，以致弹带的大量用铜无法解决。当时，便研究和开发了用烧结铁代铜制造弹带，所用铁粉便是用 R. Z. 法制造的。当时铁粉用量惊人，仅1944年一年就消耗了近20000吨，最大用量时每月高达4000余吨。

喷雾法适用于大量生产铁粉，尤其是在较小的地方可能生产很多的铁粉；生产设备亦可以高度机械化。因此，喷雾法制造铁粉发展很快，从表 7 所示，可推断出在铁粉生产中，喷雾铁粉所占的比重。

自表 7 中可见，西欧资本主义国家采用喷雾法生产的铁粉比重是比较小的。

表 7 1956年欧美各国铁粉产量中，
喷雾铁粉所占百分率

国 别	铁粉总产量，吨	喷雾铁粉所占%
美 国	32000	40
西欧资本主义国家	24480	14
西 德	2370	80

上面所指的系指含碳量在0.1%以下的铁粉生产。但是近年来，R. Z. 法得到很大的发展，用来制取合金粉末和合金铜粉末。关于合金粉末，将于后面提及。

帕隆法 (Pyron Process) 是美国生产铁粉的重要方法之一。帕隆企业有两个铁粉厂，帕隆法系应用氢气还原轧钢铁鳞，在履带式还原炉中进行还原，此生产方法使用迄今已 20 年。该厂的有利条件为设厂位于尼亚加拉瀑布附近，利用了虎克尔化学公司 (Hooker Chemical Co.) 的廉价氢气^[18,19]。其铁粉生产能力为每年3600吨，而所需职工仅40人。

用焦炭在迴轉炉中还原轧钢铁鳞来制造铁粉的方法早已于生产中应用^[20,21]。美国 National Radiator Co. 就采用这种工艺。

在新发展的铁粉生产方法中，有乌克兰粉末冶金研究所 И. И. 弗兰采维奇 和 И. И. 腊多梅谢尔斯基研究成功的用转化天然气直接还原轧钢铁鳞的铁粉制造法^[22]。1958年瑞士和西德也发表了与此相同的工作，并适当地研究了自动化生产的工艺流程。采用这种方法所制成的铁粉，据性能试验指出，在大规模生产的铁粉中（电解法和羰基法除外），按这种工艺所制取的铁粉质量最好，性能也最稳定，而且，由于利用了廉价的天然气，铁粉生产成本也因而降低。И. И. 弗兰采维奇提到，他们的研究所的实验工厂在1959年之前，已按照这种工艺生产，并供给了不同企业约1000吨铁粉，价格为每吨约800卢布。

“流体床”法还原氧化铁 (H-Iron Process) 制造铁粉亦是最新成就之一^[23,24]。用

高压氢气流过装有磁铁矿粉的反应器，铁矿粉在悬浮状态（即流体床 Fluidized beds）下，于较低的反应温度被氢气所还原。1957年，美国的 Hydrocarbon Research Inc. 和 Bethlehem Steel Co. 已将上述方法在实验工厂中进行了为时四年的实验，奠定了 H-Iron 法的基础。为了进一步发展上述制造铁粉新工艺，美国 Alan Wood 钢厂在1958年设计了每天生产50吨铁粉（即是每年18000吨）的工厂。该厂主要生产粉末冶金用铁粉，并且利用焦炉煤气局部氧化制成氢气，作为廉价氢气的来源。所生产的铁粉成本估计低至每吨美金21.11元，此厂已于1960年投入生产。此外，Bethlehem Steel Co. 还在美国加利福尼亚州南部兴建了采用同样方法日产150~200吨铁粉的工厂，1960年9月已有一部分投入生产^[25,26]。苏联有色金属研究院也利用黄铁矿进行了类似的工作^[27]。还原气体采用煤气或转化天然气，反应温度为900~930°C。

至于电解铁粉，它的纯度高而压制性能又好，可是由于生产成本较高，其价格约为还原铁粉的4倍，因此用量较少，产量也就不多了。美国的 National Radiator Co. 系采用硫酸盐液电解，而 BU-EL Metals Co. 则采用氯化盐液电解法制造电解铁粉^[28]。欧洲的电解铁粉主要是由瑞典的 Husqvarna 企业组织所生产，所谓 H. V. A. 电解铁粉即指该企业生产的制品。此厂采用氯化液电解，据文献所载，效率较高，每公斤电解铁粉仅耗电2 KWh，其年产量大约为250吨。

如所前述，世界上庞大的铁粉用量，其中半数以上已经不属于粉末冶金之用，而是用于焊接和氧熔切割。根据目前的发展趋势，焊接和切割所需铁粉正在与日俱增，同时大有发展前途的轧制粉末钢板，即所谓无高炉的钢厂，将促使粉末冶金的发展，所需铁粉，为数必然可观。此外，石油工业中尚以铁粉作催化剂，这亦是铁粉主要用途之一。因此，铁粉除粉末冶金工业之外，用途十分广泛，数量相当庞大，在我国是否应及早研究其生产问题，值得有关部门重视。

（二）合金粉末和复合粉末

一般的烧结铁和烧结钢在现有的工艺条件情况下，所能达到的性能，如强度、韧性、耐热、耐腐蚀等，已不能满足工程界的要求。

正由于粉末冶金的应用不断扩大，对要求试制性能不寻常的制品，也就层出不穷。合金粉末是在这种情况下，为满足生产要求而逐步发展起来的。

合金粉末及合金钢粉末已有了若干年历史，尤其是铜合金粉末很早已经问世。

采用一般的混合法制造烧结合金或合金钢材料成本较低，而且纯金属粉末颗粒塑性比合金粉末的要好些，成形压力较低。但是，高合金材料，如不锈钢、工具钢和其他高合金用混合法未能获得成功。按照工业上现有的烧结时间，不足以使合金元素借扩散获得均匀的化学组成。

烧结合金粉末时，可以克服这些困难，而且高合金粉末具有特别好的抗腐蚀性能、抗氧化性能或高温强度。

现在美国工业已生产的合金粉末，其新品种大约有不锈钢粉12种，低合金钢粉6种，镍基合金粉5种和钴基粉末3种。其他新品种粉末如铝合金粉末等正处在研究阶段或发展阶段。美国的依斯顿厂正在制造偏析少的硅钢板粉末。

复合粉末与合金粉末是不相同的。合金粉末的每一粉末颗粒是均匀的组成，而复合粉