

《国外机械工业基本情况》参考资料

# 粉 末 冶 金

杭 州 粉 末 冶 金 研 究 室

第 一 机 械 工 业 部 情 报 所

## 出版说明

在毛主席无产阶级革命路线指引下，在党的十大精神鼓舞下，我国机械工业形势一派大好。广大革命职工，高举毛泽东思想伟大红旗，深入开展批林批孔运动，狠抓革命，猛促生产，巩固和发展无产阶级文化大革命的丰硕成果，毛主席关于“中国人民有志气，有能力，一定要在不远的将来，赶上和超过世界先进水平”的伟大号召，正在胜利地实现。

“知彼知己，百战不殆”。为了介绍国外机械工业基本情况，我们组织有关单位，按机械工业各行业分别编写与出版一套《国外机械工业基本情况》参考资料。

毛主席教导我们：“……一切外国的东西，如同我们对于食物一样，必须经过自己的口腔咀嚼和胃肠运动，送进唾液胃液肠液，把它分解为精华和糟粕两部分，然后排泄其糟粕，吸收其精华，才能对我们的身体有益，决不能生吞活剥地毫无批判地吸收。”资本主义、修正主义国家的东西，必然打上资本主义的社会烙印和带有资产阶级的阶级偏见。因此，在参考国外情况的过程中，必须遵照伟大领袖毛主席的教导采取分析、批判的态度。

本册为粉末冶金国外基本情况部分，编写单位：杭州粉末冶金研究室。

由于我们水平有限，编辑工作中定有不少缺点和错误，请读者批评指正。

第一机械工业部情报所

一九七四年

# 目 录

一、概述	(1)
二、金属粉末的生产	(2)
(一) 主要金属粉末的产量及发展趋势	(2)
(二) 几种主要的生产方法	(3)
(三) 金属粉末生产评述	(4)
三、粉末冶金制品的生产	(5)
(一) 制品的种类及应用	(5)
(二) 各国粉末冶金制品生产概况	(5)
(三) 一些国家的粉末冶金企业情况	(7)
(四) 粉末冶金生产评述	(8)
四、新材料、新工艺、新设备	(10)
(一) 发展概况	(10)
(二) 粉末高速钢、铝基材料及耐热耐磨钢	(11)
(三) 粉末热锻	(12)
(四) 新设备	(14)
五、行业组织与学术活动	(15)
(一) 美国	(15)
(二) 瑞典	(16)
(三) 苏联	(16)
(四) 西德	(16)
(五) 日本	(17)
(六) 英国	(17)
(七) 奥地利	(17)
附录:	(18)
(一) 几种主要铁粉和予合金钢粉的化学成分	(18)
(二) 美国粉末冶金材料规格	(18)
(三) 日本粉末冶金工业会规格 JPM A <sub>1</sub> -1970 机械结构零件用烧结材料	(20)
参考文献	(22)

## 一、概述

粉末冶金是以金属或合金的粉末，或这些粉末与其它合金元素粉末的混合物为原料，经成型、烧结等工序来制取材料和制品的一门科学技术。

近代粉末冶金技术首先应用于工业实践的是在六十多年前，当时用于生产灯泡的钨丝〔1〕。此后，陆续出现了电触头材料、磁铁芯、硬质合金、青铜多孔轴承、磁性材料、多孔铁轴承、机械结构零件、摩擦材料及高温材料等。但这些发展规模均较小，且只限于法国、瑞典、美、英等少数几个国家。二次大战后有了些发展，但直到1960年之前，这项新技术在金属加工工业中仍占很小的比重。六十年代里，粉末冶金成为迅速发展的工业部门，世界粉末冶金零件的总产量，每年平均增长15~20%〔2〕。这十年中，新工艺、新设备、新材料不断涌现，它们互相联系、互相促进，使粉末冶金的发展进入了一个新的阶段。从一些资料报导〔3〕〔4〕看来，七十年代的头两年，由于资本主义世界汽车工业减产，粉末冶金的发展速度也受到一些影响。

目前，粉末冶金在一些主要工业国家已经开始形成为一个独立的工业部门。制品的应用非常广泛，特别是汽车工业，采用粉末冶金制品最多，占整个粉末冶金产品的60~70%。在这方面，美国用得最多，其次是欧洲，再就是日本〔5〕。

铁基制品在整个产品中比重最大，六十年代以来的发展也最为迅速。尤其是由于粉末热锻工艺的采用，使粉末冶金从仅能生产含油轴承之类的低强度小型机械零件的实用技术，发展成为一门可经济地大量制造高强度大型机械零件的生产技术。

粉末冶金的迅速发展主要由于如下几个原因：

（一）对某些材料的生产来说，粉末冶金是唯一手段，用此法可生产如铜-钨、银-钨触头材料，各种硬质合金，金属陶瓷制品，多金属复合材料，金属-塑料复合材料，弥散强化及纤维强化复合材料等；

（二）用粉末冶金法生产高合金钢、钛及超合金等材料，具有晶粒细、无偏析及力学性能方向性小等冶金结构特点，可与传统的冶炼方法相竞争；

（三）作为少、无切削的先进工艺，具有一系列技术经济优越性，可与传统的铸、锻、切削加工工艺相竞争；

（四）最近几年来，喷雾预合金钢粉末大量投产，大型压力机和一些先进工艺的采用，使粉末冶金的生产和应用提高到了一个新的水平。

美国的粉末冶金比较发达，此外，如瑞典、西德、苏联、英、法等国也具有一定水平。日本发展较晚，但目前已赶上西德和英国。

七十年代的粉末冶金将有较大的发展。如，美国1971年生产铁基粉末冶金机械零件94,000吨〔6〕，估计1980年仅汽车用粉末冶金零件就达50万吨，其中30万吨准备以热锻法生产〔7〕，并据国外预测，将来汽车有50%的钢材可用粉末冶金取代〔8〕。苏联1970年铁基粉末冶金零件产量13,500吨，1975年计划生产6万吨〔2〕。日本1971年铁粉需要量为12,650吨〔9〕，预计1975年可达4万吨〔4〕。瑞典、西德及英、法等国也都将有较大的发展。

## 二、金属粉末的生产

金属粉末是粉末冶金生产的原料材，与粉末冶金的发展有直接关系。

### (一) 主要金属粉末的产量及发展趋势

粉末冶金用金属粉末，包括铁、铜、铝、铬、镍、钨、钼、钴、钛等金属及合金粉末，一些金属的碳化物粉末等。主要的是铁、铜、铝及它们的合金粉末。

1970年世界铁、铜、铝等粉末的产量达49万吨，其中铁粉25万吨，铜粉4万吨，铝粉15万吨[10]。1972年，瑞典、美国和加拿大、日本、西德、苏联等主要铁粉生产国，生产的铁粉总量在28万吨以上[9]。

瑞典和美国是生产铁粉最多的国家，其产量约占世界铁粉总产量的3/4以上。

瑞典的赫格纳斯公司是国外最大的铁粉生产厂。它在1911年生产海绵铁，1930年将海绵铁研磨成粉末供应世界市场。几十年来它在世界市场上销售的铁粉最多。在世界上，仅有美国新泽西州瑞弗顿(Riverton)的赫格纳斯公司的产量与之相当，它原来也是瑞典赫格纳斯体系建立起来的，但现在属于英特莱克(Interlake)有限公司[9]。

瑞典赫格纳斯公司铁粉产量近五年来每年增长14%，1972年生产铁粉77,000吨，其中85%以上供应外国[9]，主要销售于欧洲、亚洲、大洋洲和非洲，用于粉末冶金工业和制造电焊条。其供应量约占这些地区铁粉需要量的56~58%[9]。

美国铁粉的产量和用于零件生产的消耗量，历年在不断增长。表1列出美国1960~1972年的增长情况，从该表可见，每年平均增长约10~20%。

表1 美国历年铁粉大致产量和用于零件生产的铁粉消耗量(千吨)[9]

年 度	1960	1961	1962	1963	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972
总 产 量	33	36	51	58	73	87	100	94	113	127	114	128	154
零 件 用 粉 量	17	20	31	37	46	57	62	63	77	89	79	94	118

铜粉的主要生产国是美、日和西德。但由于铜的价格较高，近年来铜粉产量有所下降(表2)。

表2 美国、西德、日本几年来铜粉的产量(吨)[9]

年 度	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972
美 国	33000	28500	31432	30500	23755	26290	27000
日 本	1480	1788	1990	2195	2219	1860	—
西 德	—	—	—	3200	3400	2300	2600

注：美国与西德系铜与其合金粉末数量

铝粉的主要生产国是美国，1970年生产了约85,000吨[6]。其它如日本、西德、英、法等国也有些生产。其用途除供粉末冶金工业外，还供染料、化工和矿山炸药等行业用。

随着粉末冶金制品的发展,各种金属粉末的需要量也将增加,因而促进了它的发展。如,瑞典还原铁粉的生产能力还在继续扩大,正在扩建新的还原炉,建成后年产将达20万吨〔2〕;美国则准备大量发展喷雾预合金粉,仅汽车发动机零件及传动轮丝的锻造用粉,1975年预计为25,000吨,1980年将达10万吨〔4〕;英国的金属粉末用量也将由近几年的1.2万吨/年提高到10万吨/年〔10〕;日本国产铁粉发展较快,1966年90%以上靠进口,但到1972年65%可以自给〔4〕;苏联最近三年铁粉产量增长了80%〔9〕,估计达到2.5万吨左右。

## (二) 几种主要的生产方法

金属粉末的生产方法,主要有:

1. 还原法:主要用于生产铁粉。目前采用较多的有固体碳还原法、气体还原法和沸腾层——流态化还原法。

还原法是现在世界上铁粉生产占比例最大的方法,如瑞典赫格纳斯公司1972年生产的77,000吨铁粉,其中还原铁粉就占6万吨〔2〕。赫格纳斯还原铁粉是在世界著名的海绵铁粉,其原料是瑞典产含铁71%的铁精矿,经粉碎后在隧道窑中以碳、焦炭(加少量石灰脱硫)还而生成的。美国除固体碳还原铁矿砂、气体还原轧钢铁鳞外,还采用沸腾层——流态化还原法,美国称“氢-铁”法(HIron Process),1958年,艾伦·伍德(Alan Wood)钢厂设计了年产18,000吨的铁粉工厂,此后伯利恒(Bethlehem)钢铁公司又在加利福尼亚州南部兴建日产150~200吨的铁粉工厂,都是采用这种方法〔2〕。在苏联,有用无烟煤在隧道窑中还原轧钢铁鳞,还有固体(炭黑)、气体(转化天然气)联合还原法及粉料制团竖炉还原法等。

2. 喷雾法:主要用于生产铁、铜、铝粉和各种预合金粉末。

喷雾法又可分为气体雾化、水雾化、离心力雾化和旋转电极雾化、可溶气体雾化、等离子雾化六种。前三种是发展较早但最近在实践中才广泛使用的;后三种则是近几年才发展起来的,主要用于一些贵重粉末的生产〔11〕。

近几年来,由于新技术、新材料的需要,美国雾化法生产有了迅速发展。1970年,美国连同加拿大,喷雾铁粉和钢粉的生产能力就已远远超过了还原铁粉的生产能力(表3)。

表3 美国和加拿大还原铁粉和喷雾铁粉生产能力的比较〔12〕

铁粉类型	生产能力 (千吨)		
	1950年	1960年	1970年
还原铁粉	6	60	116
喷雾铁粉	—	20	168

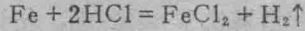
目前,美国喷雾预合金粉主要有4600系(2Ni—0.5Mo%)、低镍—钼系、钢铁学会(AISI)的几种锻造用典型钢粉,以及史密斯(A·O·Smith)公司的各种预合金粉末〔11〕。

瑞典,西德和日本也很重视喷雾预合金粉末的生产。例如,瑞典赫格纳斯公司为锻制汽车零件用而建立了年产55,000吨喷雾钢粉的工厂〔11〕,据最近报导,“超压缩性”喷雾钢粉及喷雾铁—磷系预合金粉的研究有了重要的进展〔9〕。西德有四家公司进行喷雾合金粉的生

产，供金属喷涂和烧结不锈钢制品之用〔9〕。日本神户制钢所 1970 年 5 月从史密斯 (A·O·Smith) 公司引进喷雾技术，也开始试制低合金钢粉，以供汽车工业粉末热锻之用〔2〕。

### 3. 水冶法：用于生产铁粉。

最有名的是加拿大“和平河”法 (Peace River Process) 即盐酸水冶法。它基于如下原理：



即：钢铁屑溶解于盐酸产生氯化亚铁和氢气，氯化亚铁溶液经过滤、浓缩结晶和干燥后，用收集起来的氢气加以还原，以产生铁粉。还原时有副产物氯化氢气体，用水吸收成为盐酸又可作酸解钢铁屑之用。因此，整个过程是一个闭式循环系统，只要补充少量氢气和盐酸即可大批量连续生产。

该法特点是铁粉纯度高、压制性能好、成本低，适合于大量集中生产和对废气、废酸、废钢铁屑及硫酸铁泥等的综合利用。

加拿大在 1960 年开始“和平河”法的研究，由于解决了用预热氢气 (750~800°C) 还原氯化亚铁晶体这一关键问题，因此获得了成功。在 1966 年就筹建了一个日产 5 吨铁粉的中间实验工厂。后来，“和平河”采矿与熔炼公司用这种方法建造了一个铁粉厂，每年产铁粉 5 万吨〔8〕。

日本和西德也在进行这方面的研究和试生产〔13〕。

4. 电解法：主要用于生产铜粉及其它纯度要求高的金属粉末。

5. 羰基法：主要用于生产高纯度铁、镍粉末等。

## (三) 金属粉末生产评述

世界金属粉末的生产，总的说来是逐年增长，特别是铁粉和喷雾预合金钢粉。而铜及其合金粉末因价格较贵，逐步被其它金属所代替，因而产量趋于下降。铝粉则由于资本主义世界某些行业萧条的影响，71 年的产量也比 70 年下降了 23.6%〔6〕。

从生产规模来看，由于资本主义的竞争，采用一些新技术等，趋向于集中大规模生产。如瑞典目前铁粉工厂仅有两家，美国 1972 年是 11 个，现在减少到 7 个〔9〕。也就是说，世界铁粉的 3/4 以上被瑞典和美国的几家公司所垄断。

从生产能力来说，主要生产国瑞典、美国，其现有生产能力大大超过实际供货量。如美国 7 个厂的生产能力是 268,900 吨，而 1972 年实际供货量仅有 154,000 吨，且大部分出口外销〔9〕。但由于资本主义追求利润和盲目发展，目前还在兴建和扩大新的铁粉生产基地。日本因进口铁粉价格比国产的要高 20%，所以也在发展制粉能力，预计 1972 年以后自给率将增长到 70% 以上〔4〕。

从生产方法看，还原法是基础，但有逐步被喷雾法取代的趋势。尤其是在制取预合金粉末作为高强度零件的原料方面，喷雾法更有其优越性。近几年来，“水冶法”低成本和高纯度的铁粉试制成功，引起了极大的注意。

从粉末冶金工业角度看，金属粉末的发展主要取决于：

1. 粉末的价格 (一些国家的铁粉价格见表 4)

表4 各国铁粉价格〔2〕〔14〕〔15〕(折算人民币)

单位:元/公斤

	还 原 粉	喷 雾 粉	电 解 粉
美 国	0.19	0.19	0.7
英 国	0.45	0.37~0.56	1.05
日 本	0.10	0.14	—
苏 联	0.26~0.52	0.26~0.52	0.65

2. 粉末的性能(几种主要铁粉和预合金钢粉的化学成分见附录1〔2〕〔8〕〔11〕〔16〕)
3. 粉末冶金零件的发展和新材料领域的扩大。

### 三、粉末冶金制品的生产

#### (一) 制品的种类及应用

制品的种类很多,按材料性质分主要有:多孔材料、减磨及摩擦材料、结构材料、电磁材料、难熔金属及硬质合金、热强材料等。应用范围很广,如表5、表6所示。尤其以汽车工业所占比例最大。

表5 1970年美国粉末冶金制品的分配情况〔17〕

部 门	汽 车	各种机械装置	农 林 园 艺 五 金 工 具	办公机械	体育用品和玩具	其 它
百 分 比	45%	18%	17%	8%	6%	6%

表6 1970年西德粉末冶金制品的分配情况〔9〕

部 门	汽 车	办公机械	家庭用具及电气设备	制 锁 工 业	机 械 工 业
百 分 比	59%	13%	21%	1%	6%

据报导〔8〕,美国每辆汽车用粉末冶金零件6公斤;70年生产的汽车,平均每辆使用125种〔1〕。苏联70年平均每辆汽车使用5.2公斤〔2〕;1965年,每辆汽车使用70种零件,而1970年则增至120种以上〔9〕。英国利兰(Leyland)汽车公司每辆有100种以上,重约5公斤〔9〕。西德福克斯瓦根(Volkswagen)汽车每辆使用零件近70种,重2.4公斤,相当于每吨重汽车有3.08公斤粉末冶金零件〔9〕。日本目前每辆汽车使用2公斤,估计今后可用到8公斤〔8〕。

#### (二) 各国粉末冶金制品生产概况

六十年代里,制品生产发展很快,特别是铁基粉末冶金领域,产量不断增长、产品性能不断提高、生产工艺迅速发展。十年里,世界粉末冶金零件产量平均每年的增长率约为15~



表7 1969年各国烧结的机械零件的大致产量〔2〕

地 区	国 别	总 产 量 (吨)	占世界总产量的%	在汽车工业中应用%
北 美	美国和加拿大	106000	60	45
欧 洲	英 国	10000	6	50
	西 德	10000		59
	意 大 利	5000		50
	法 国	4500		67
	瑞 典	1000	3	
	西 班 牙	900		
	比 利 时	600		
	荷 兰	500		
	瑞 士	400		
	奥 地 利	350		
	苏 联	6000	4	30
	东 德	1800	3	
	保 加 利 亚	1000		
	捷 克	700		
	南 斯 拉 夫	450		
其 它 国 家	日 本	13000	8	60
	巴 西	500	3	
	阿 根 廷	500		
	澳 大 利 亚	500		
	南 非	300		
	印 度	300		
墨 西 哥	300			

20%。1969年，世界烧结的机械零件共达17万吨多（表7），其中有少量的有色金属和合金，主要是铁基零件。1965年，美国铁基制品与有色金属制品之比为7:3，而70年则为8:2〔17〕。一些国家1965到1970年铁基零件的增长情况列于表8。

表8 美国、西德、苏联1965~1970年铁基零件产量〔14〕

产 量 (吨) 国 别	年 份					
	65	66	67	68	69	70
美 国	58000	62000	63183	78600	89147	79163
西 德	6960	6470	5710	8000	10200	12000
苏 联	4500					13500

美国的粉末冶金工业比较发达，在铁基粉末冶金领域内，其产量和品种均居世界首位。六十年代以来，平均每年增长率约为15~20%〔2〕。1970年，各种粉末冶金制品全年总产值约五亿美元，其中铁、铜粉末零件的产值为二亿一千六百万美元；近几年的基本设备投资，每年达两千五百万美元〔17〕。

日本六十年代以来，生产发展很快，各种制品的产量都有较大幅度的增加（表9）。其它国家的粉末冶金生产，在六十年代里也都有不同程度的发展。

表9 1965~1971年日本各种粉末冶金制品的产量〔18〕

产 量 (吨) 名 称	年 份						
	65	66	67	68	69	70	71
轴承合金	1350	1930	2529	3085	3612	3701	3539
摩擦材料	187	236	328	419	667	846	686
机械零件	2372	3612	4996	6357	8197	11018	12391
触 头	63	86	116	113	146	155	148
电灯泡—真空材料	163	175	217	188	250	238	448
集电材料	170	179	181	153	179	180	190
硬	1555	2238	2416	3597	6092	7970	7996
磁性材料 软	3991	7235	7533	11792	15225	13821	15915
其他(除硬质合金刀片外)	31	26	27	31	43	49	34
合 计	9882	15717	18343	25672	40482	37978	41387*

\* 产值为563.34亿日元

### (三) 一些国家的粉末冶金企业情况〔2〕〔9〕

美国和加拿大目前有125个企业生产粉末冶金制品。其中88个企业的产品在市场销售,4个企业是自用兼销售,还有23个是专为自己生产摩擦料材、过滤器、触头料材、磁铁芯等,其余的企业则生产难熔金属制品及反应堆金属制品。有约40个粉末制造厂(其中7个生产铁和铁合金粉末,4个生产不锈钢粉,8个生产铜和铜合金粉末)、15个压力机制造厂及10个烧结炉制造厂为这些制品企业提供原料和生产设备。

西德有22个公司生产结构零件和含油轴承,其中6个厂自产自销,16个厂向市场销售。另外有4个公司生产钨、钼制品,近10公司生产硬质合金,6个公司生产触头产品,2个公司生产磁性料材,6个公司生产过滤器。

苏联有116家粉末冶金工厂,其中三家大厂年产超过千吨。基辅附近的勃劳瓦里粉末冶金厂是一个大型的粉末冶金综合性工厂,在15,000平方米的主车间中有105台压机,最大吨位2,000吨,设有产品试制的试验车间,1970年该厂生产7,000吨以上的轴承、结构零件,还生产碳化铬基模具钢、碳化钨基及碳化硅基难熔金属和钛等。另外还有伏尔加格勒拖拉机厂、明斯克拖拉机厂及高尔基汽车厂等内设粉末冶金车间或工段。最近在伏尔加河陶里亚蒂汽车厂(4万人,月产5万辆)中兴建一个大型的粉末冶金车间,为每辆菲亚特/瓦兹汽车提供3.6~4.5公斤粉末冶金零件。

英国:目前有15个零件制造厂,其中有的规模较小且自产自销。铁基零件主要为其中的6个大公司所控制。

瑞典以山特维克(Sandvik)公司可尔满(Cormant)工厂生产的硬质合金和赫格纳斯公司的海绵铁粉较著名。另外,结构零件生产厂主要有格里萨(Glissa)含油轴承专业厂及考尔斯瓦(Kohlswa)、苏拉玛(Surahmmar)厂等。

法国有四个主要的零件生产厂,其总产量占全国总产量的80%。其中两家最大的工厂是:1. 碳化物厂(Societ'e uquine-carbone),主要生产结构零件、含油轴承和硬质合金,1966年这几种产品的产量就已分别达到2,350、1,100和170吨。2. 美塔弗拉姆(Societ'e Metafram)工厂,该厂结构零件生产具有相当规模,1964年年产量达到2,100吨。

奥地利的普兰西金属加工厂 (Metallwerk Plansee) 具有 40 多年历史, 是奥地利粉末冶金中心, 也是欧洲最大的烧结零件厂之一。有 1,000 多人, 配备有 3,000 吨大型压力机。是一个综合性粉末冶金厂, 产品种类很多, 主要是难熔金属、硬质合金、触头材料、金属陶瓷、机械零件和含油轴承等。

### (四) 粉末冶金生产评述

#### 1. 生产工艺

国外粉末冶金的工艺流程大致如图 1 所示。

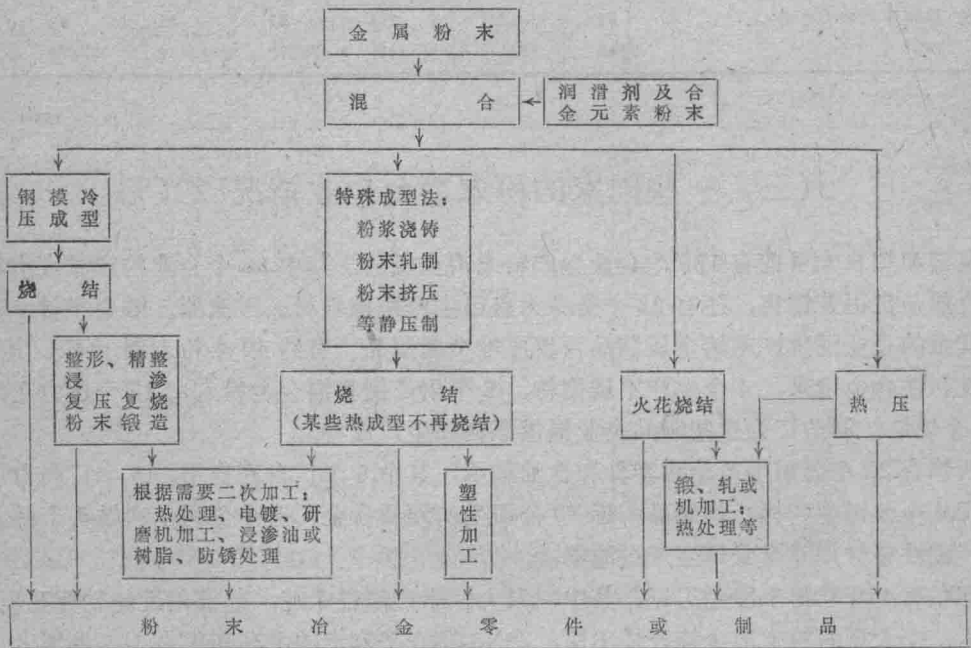


图 1 粉末冶金工艺流程

粉末冶金机械零件的生产, 通常多采用钢模中冷压成型, 在保护气氛中进行烧结, 经整形或精整、油浸及必要的随后加工而制成零件或制品。

在铁基制品生产工艺参数方面, 欧洲和美国有所不同[19][20]。在欧洲, 采用较高的压制压力和整形压力 (后者实际相当于复压), 较高的烧结温度和较长的烧结时间, 另外还常常采用复压复烧工艺, 添加铜、镍等合金元素而避免用碳 (以免除在高温下制品脱碳), 这种工艺制取的烧结钢其机械性能接近于含碳量很低的低合金钢。而在美国, 通常采用较欧洲低得多的压制压力和烧结温度 (以及较短的烧结时间), 制品密度较低 (表 10), 通过添加碳、铜、镍等元素以及常常采用浸渗的方法来提高强度。一般地说, 美国结构零件的强度较欧洲高, 但较脆。目前国外烧结结构零件约 75~85% 是采用美国工艺或以此为基础改进的工艺。随着高密度、高强度合金钢零件生产的需要, 制品生产有向较高的工艺参数发展的趋向。

六十年代里, 各国生产的烧结零件一般地均以低密度低强度居多, 小件居多。如美国, 平均重量 30 克, 大的 100 克以上; 英国 1967 年零件平均重量 27.4 克, 1971 年约 32 克。中

表10 1969年美国各种密度的烧结铁基零件产量〔19〕

制 品	密 度 范 围 克/厘米 <sup>3</sup>	估 计	
		产 量 (公吨×10 <sup>3</sup> )	总产量的分配(%)
摩擦材料	<5.5	?	?
轴 承	>5.3<6.3	4	5
结构零件**	<6.5	49	60
	>6.5<7.0	25	31
	>7.0<7.4	2	3
	>7.4	1	1
合 计		81	100

\* 美国摩擦材料以铜基为主，铁基产量很少。

\*\* 高密度铁基材料已由粉末热锻法制造，本表未计入。

密度中强度零件通常通过复压或复压复烧、浸渗法生产。高密度零件目前尚不能普遍地大量生产。

烧结用保护气氛是制品获得良好性能的重要因素之一。国外常用的有吸热型和放热型可控气氛，真空或惰性气体等。吸热型可控气氛在国外已广泛应用于铁基制品的烧结，分解氨、氢气则多于铜基、不锈钢或铝制品，钛及特殊钢制品等通常是真空保护。

## 2. 压制设备和烧结炉

压制设备主要有：机械压力机、液压机、等静压机及高能锻造设备。常用的是机械压力机和油压机，其容量500吨以下最多。目前压力机已向自动化、高精度、高效率、大吨位发展。1971年，美国压力机有2500台，其中单工位压制达每分钟60件，而多工位压力机可能达到每分钟1000件。随着大型零件的发展，不少国家已有1000吨压力机应用于粉末冶金生产。美国近来又将5000吨压力机改为粉末冶金压力机，制品面积可达600厘米<sup>2</sup>，并可生产形状复杂的零件〔11〕。据报导〔9〕，西德近十年来也对压力机作了重大改进，如“肘节”式(Toggle)全自动精整压力机(100T、160T、360T)每分钟生产20~40件；60吨油压机由于冲头和定位器的改进，其高度压制公差可达0.03毫米。

烧结炉的种类很多，但主要是卧式连续加热电炉。这种炉子的温度范围是797~1149℃，推舟方式有三种：(1)机械或液压推杆装置；(2)滚动炉床式；(3)金属网传送带式(应用于大量生产中)。

## 3. 烧结铁基料材及其性能

目前国外烧结铁基材料主要是：纯铁系、铁—碳系、铁—铜—碳系、铁—镍—碳系、铁—铬—碳系、铁—镍—铜—碳系及铁—镍—钼—碳系等等。

与传统的钢铁材料相比，目前常用的烧结铁基材料的强度水平大致是：低密度材料的强度与灰铸铁相似，中密度材料的强度与可锻铸铁接近，而高密度的材料则相当于铸钢(表11)。

## 4. 制品生产动向

目前粉末冶金制品向高密度、高强度、大型和复杂零件发展，其趋向是：

- (1) 采用粉末热锻等新工艺制取高密度、高强度零件；
- (2) 大量采用喷雾钢粉生产结构零件；

表11 烧结铁基材料与钢铁材料的性能比较〔17〕

	材 料 名 称	密 度	抗 拉 强 度 公斤/毫米 <sup>2</sup>	延 伸 率 (%)
1	灰铸铁	100%	14~42	0
2	低密度Fe—Cu—C	75%	28	0
3	可锻铸铁	100%	35~70	3~20
4	中密度Fe—Cu—C	85%	49	0
5	铸 钢	100%	42~122.5	6~24
6	高密度Fe—Cu—C	91%	63	0.1
7	两次压烧成分相当于4650的低合金钢, 经热处理	91%	98	1.3

注：表中2、4、6、7项为烧结铁基材料。

(3) 采用大吨位压力机生产大型结构零件；

(4) 采用全自动高效率的粉末制品压机和高效率的大型、高温连续烧结炉。

#### 5. 粉末冶金材料规格

美国金属粉末工业联合会出版了“粉末冶金材料标准和规格”一书，其中包括80种铁基和有色金属粉末冶金材料的成分、物理和机械性能〔9〕。美国粉末冶金材料规格列于附录2〔11〕。

日本粉末冶金工业会于70年初步制订了机械结构零件用烧结材料的规格〔21〕，列于附录3中。

## 四、新材料、新工艺、新设备

### (一) 发展概况

六十年代以来，粉末冶金新材料、新工艺、新设备有了迅速发展，报导很多〔1〕〔6〕〔7〕〔17〕〔20〕。

新材料主要有：特殊钢（高速钢、耐热耐磨钢、不锈钢等）、铝基材料、钛及超合金、弥散强化材料及纤维强化材料等。其中高速钢、铝基材料和耐热耐磨钢与普通机械制造业关系比较密切。不锈钢烧结材料除作过滤器外，已发展成为结构零件。钛的粉末冶金材料主要用于航空工业，其次是海洋开发和化工工业，1970年，美国三家航空公司在钛的粉末冶金技术方面取得了一些进展，预计七十年代里将有较大的发展。近年来，为了适应现代喷气技术对高温合金的要求，用粉末冶金方法制取的无偏析的超合金材料，得到迅速发展，如，美国1971年生产了25~50吨超合金粉末〔7〕，制造出IN-100、INCO625、IN718、Rene41、Rene95、Udimet700及Waspalloy等材。弥散强化材料除SAP（烧结铝粉）、TD镍外，还有在高温下能保持强度的TD铬镍，以及铁基（如Fe—Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>等）、铜基（如Cu—ThO<sub>2</sub>等）、钢基弥散

强化材料等,但这些材料多数尚不能大量生产,且价格高,限于特殊用途。目前发展的金属—塑料复合材料主要有两种:铜—聚四氟乙烯(Du材料)、铜—聚甲醛(Dx材料),用作化工设备中润滑条件差或无油润滑的轴承等减磨零件。纤维强化复合材料近几年来也很受重视,特别是美国,但这类材料制造困难、产量低、成本昂贵,难于广泛应用。

新工艺有粉末的冷锻和热锻、粉末冷轧和热轧、冷等静压及热等静压、粉末冷挤和热挤、粉浆浇铸及火花烧结等。这些新工艺都有各自的特点和应用范围。如,粉末轧制能从金属粉末直接生产板带材(矽钢片、不锈钢过滤器等),比传统轧制设备投资少、占地小,但生产率低且材的宽度有限;等静压制可生产大型零件(如1.5吨的高速钢锭),且可使用成型性差的粉末,如高合金钢、碳化物、金属陶瓷等,但生产率不如普通钢模冷压成型;粉末挤压适于制造管、棒及零件毛坯,如硬质合金轧辊及钛、钽等难熔金属坯件;粉浆浇铸类似于陶瓷工业的成型方法,因其后烧结时尺寸收缩大,只适于生产少量形状特殊的零件,如油泵叶片等;火花烧结能快速生产(十几秒到几十分钟)多种金属、合金、金属间化合物及金属陶瓷制品,特别是对烧结金刚石耐磨工具来说,由于时间短,金刚石不易被基体腐蚀成碳,制品质量很高。粉末热锻工艺是1965年以后迅速发展起来的一项新工艺,世界各国都在积极从事研究和试验,目前,美国已比较广泛地应用于生产,英、日、瑞典和西德等国的不少公司也有许多产品达到了工业生产规模,几年来的实践证明,它是大量生产高密度、高强度结构零件的一个行之有效的方法。

随着生产的发展和新材料、新工艺的需要,出现了许多新的设备。普通钢模冷压成型设备向两个方向发展:一个是以高效率的自动化压力机生产形状简单的小零件,一是以大吨位压力机和组合模具生产大型复杂零件。为满足一些新工艺的需要,研制了相应的新设备,如等静压机、高能锻造机和火花烧结机等。在烧结设备方面,除出现一些特殊用炉外,大量生产用炉向高效率的大型高温连续炉发展。

## (二) 粉末高速钢、铝基材料及耐热耐磨钢

### 1. 粉末高速钢

传统的冶炼——锻轧方法,其材料合格率只约50%左右,且晶界有碳化物析出及合金元素的偏析等,使制造过程复杂、切削性能不如硬质合金。粉末高速钢的碳化物细而均匀,无成分偏析,锻轧性能好,热处理变形小(比传统材料约小10倍),刀具寿命比传统锻制品高2~5倍[7]。

目前粉末高速钢的制造方法有两种:

#### (1) 热等静压法,即ASEA-STORA法[17]。

其制造过程是:高速钢高频电炉熔化→高速氩气流喷雾→高速钢粉→装入低碳钢容器→抽真空密封→冷等静压(压力 $4T/Cm^2$ ,密度 $5.9g/Cm^3$ )→带式炉预热( $1050\sim 1150^{\circ}C$ )→热等静压( $1050\sim 1150^{\circ}C$ 、 $1T/Cm^2$ ,密度 $8.06g/Cm^3$ )→锻轧→后处理→工具。

瑞典通用电气公司——高速钢制造公司(ASEA-STORA)用这种方法生产的粉末高速钢PH30和传统的S30(成分均为 $1.2C$ 、 $4.1Cr$ 、 $5Mo$ 、 $6.3W$ 、 $3.4V$ 、 $10.0CO$ )比较,断口组织均匀,碳化物尺寸缩小到 $\frac{1}{13}\sim\frac{1}{20}$ ,对不同材料钻削时的寿命提高了120~390%。1971年,ASEA-STORA开始建造一座粉末高速钢工厂。

## (2) 粉末热锻制造法[19]。

制造过程是: M-2 高速钢雾化粉末→压制预成型坯→烧结(干燥分解氨中 1200~1250°C、1 小时)→锻造(1100°C 下一次锻成)→坯件→后处理→工具。

锻造后可达 99% 以上的致密度, 碳化物细而均匀, 性能接近传统法生产的零件而抗弯强度提高了 30%, 切削寿命提高了 2 倍。

这种方法美国应用较多。1970 年, 美国生产了 600 吨粉末高速钢, 但远不能满足需要[4]。

### 2. 铝基料料

铸造的铝基材料应用很广泛, 但用粉末冶金方法生产时由于喷制铝粉时易氧化, 压制时粉末流动性差, 有粘模现象, 对烧结气氛的要求严格, 因而过去未能获得大的发展。

美国阿尔康 (Alcoa) 公司在几年中对铝粉末冶金工艺做了不少工作, 目前已能稳定地大量生产。

据报导[19], 经复压后的 601AB 合金, 其抗拉强度为 26.7 公斤/毫米<sup>2</sup>, 201AB 合金则为 34.7 公斤/毫米<sup>2</sup>。热锻材料的抗拉强度可达 42 公斤/毫米<sup>2</sup>, 且具有优良的疲劳强度及延伸率[22]。最近又发展了高强度铝—锌 (6.5%)—镁 (2.3%)—铜 (1.5%) 合金[6], 抗拉强度 59~64 公斤/毫米<sup>2</sup>、屈服强度 55~60 公斤/毫米<sup>2</sup>、延伸率 11~16.1%, 且具有较好的抗应力腐蚀破坏和抗剥落的能力, 疲劳寿命至少相当于同等强度的普通铸造材料。

### 3. 耐热耐磨钢

日本对烧结铬钢有较好的研究和应用, 主要作发动机的阀座圈材料。如资料[8]报导, 由铁—铬 (0.8~2.0%)—碳 (1%) 制成的伐座圈, 其耐磨性和较好的活塞环用铸铁相比, 磨损量仅为  $\frac{1}{2} \sim \frac{1}{3}$ ; 耐热性优于汽油发动机的阀座圈材料, 比柴油机用的高强度耐蚀镍铜合金还要好: 在 600°C 时尚具有威氏硬度 215、抗拉强度 30 公斤/毫米<sup>2</sup>。资料[9]也提及, 为快速解决汽车排放气体的污染问题, 最近用铁—铬粉制造了活门座圈, 使用效果很好, 一些公司已成功地投产。

## (三) 粉末热锻

### 1. 工艺过程评述

粉末热锻是用常规的粉末冶金方法制取预成型件, 而后锻造成零件。所以又称“粉末冶金热锻”、“粉末预成型件热锻”、“烧结锻造”。其基本流程示于图 2。

热锻用粉末原料, 目前基本上都是采用预合金粉。其中小部分系碳钢粉末, 而多数的是 2Ni—0.5Mo% 的镍钼钢 (即 4600 系) 粉, 因为铬、锰等元素易于氧化且难还原, 因此铬—钼钢、铬钢及锰钢用得较少。作为发展方向似趋向于三个方面: (1) 发展低镍—钼系[11]

(2) 发展比镍钼钢便宜的钢种, 如锰—钼钢[10] (3) 研究含铬、锰元素钢的烧结, 如真空烧结可以还原这些元素的氧化物且无脱碳问题[14]。

预成型件的成型目前多系钢模冷压方法, 但对于大零件有采用冷等静压制的趋向[14]。

预成型件的烧结以高频感应加热较好。时间短, 通常在数分钟内即可完成, 适应锻造设备的要求; 无需锻前再加热; 过程容易自动控制[23]。

为实现无飞边锻造和高效率、自动化的要求, 美国辛辛那提公司 (Cincinnati Inco. 和

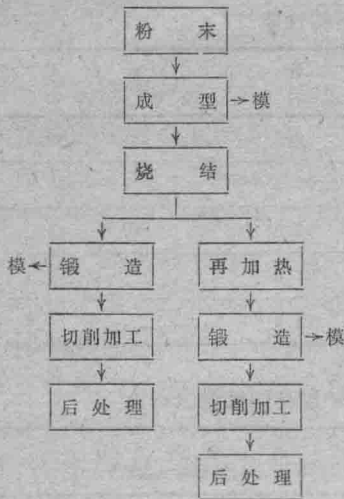


图2 粉末热锻工艺流程

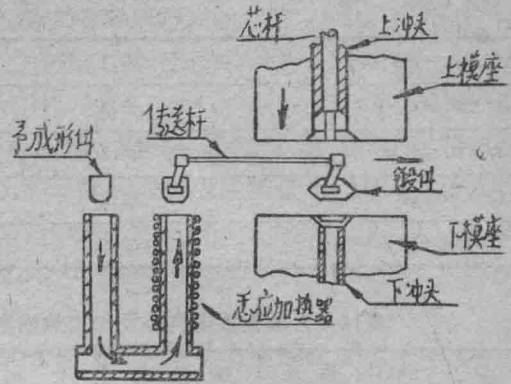


图3 粉末热锻自动化系统

通用汽车公司的德尔库·莫雷分公司 (Delco Moraine) 经两年合作, 于1970年试验成功了一条生产自动线[17][14], 其示意图如图3。主要设备是一台500千瓦高频加热器和一台改进的600吨辛辛那提机械锻压机。温度误差用红外线测温仪控制在 $\pm 10^{\circ}\text{F}$ ; 重量控制系统可使重量误差达 $\pm 0.5\%$ ; 模具用电阻加热器加热和控制, 并以细石墨粉—水溶液进行润滑和冷却; 由于加热(50千瓦、10千赫, 1分钟)及锻造(周期4秒)时间短, 预成形件只需先在石墨水溶液中浸泡就可避免氧化, 据资料介绍, 原设计的保护气氛系统在生产中实际上就没有必要了。用这条自动线生产了5万个以上合格的差速器侧齿轮, 致密度99%以上, 每分钟6、10、15件, 模具寿命2万件左右。此后, 辛辛那提公司又着手建造400吨及800吨粉末热锻自动线, 引起了普遍的重视。

## 2. 粉末热锻材料的性能

粉末热锻材料组织均匀, 晶粒细, 纤维组织不明显及力学性能方向性小, 因此锻制密度接近99%时其抗拉强度即可赶上或超过相应钢材, 但目前钢粉中铬、锰等元素含量较钢材低(考虑氧化及压制性)而含氧量常常高于钢材, 因此, 目前材料的延展性和冲击值通常较相应的传统锻钢低。

表12~14列出了美、英、日部分锻造材料的性能。

## 3. 制品应用实例及技术经济效果

表15是目前欧美粉末热锻制品应用实例, 主要是汽车零件。

美国通用汽车公司的差速器齿轮, 冲击值、耐磨性及疲劳性能可与钢制齿轮相比, 36,000

表12 美国钢铁学会(AISI)锻造用钢粉的机械性能[11]

钢粉	抗拉强度 (公斤/毫米 <sup>2</sup> )	屈服强度 (公斤/毫米 <sup>2</sup> )	延伸率 (%)	断面缩减率 (%)	硬度 RC
1040	109.2(87.5)	84(65.8)	12(20)	35(56)	40(40)
4140	150.5(130.9)	137.2(122.5)	10(15)	39(52)	40(40)
4340	142.1(133.7)	128.1(122.5)	12(15)	48(54)	42(42)
8620	75.6(72.6)	60.7(54.6)	17(22)	44(52)	22(42)

注: 括弧内是普通冶炼材料的性能。



表13 英国G. K. N锻造公司粉末热锻材料的性能〔17〕

粉末类型	抗拉强度 (公斤/毫米 <sup>2</sup> )	延伸率 %	断面缩减率 %
M/S 0.017C%	35.1	39.5	69.5
M/S 0.46C%	57.8	20.3	35.5
M/S 0.18C%	44.8	30.0	68
18/8不锈钢	86.8	22.0	22.0
Ni/Mo粉末合金(4600)	102.9	12.0	20.0

表14 日本住友电气公司粉末热锻鲁布莱特-SF制品的性能〔14〕

材料	抗拉强度 公斤/毫米 <sup>2</sup>	延伸率 (%)	冲击值* 公斤-米/厘米 <sup>2</sup>	硬度 (HR)	疲劳强度 公斤/毫米 <sup>2</sup>	热处理
SF-40	30~50	>15	>5	B 60~80	20	无
SF-70	50~80	>12	>3	B 70~90	25	无
SF-100	80~120	>10	>5	C 20~40	35	淬火回火
SF-150	120~170	>5	>2	C 30~50	40	淬火回火
SF-90C	80~100	>1	>0.4	C 40~60	40	渗碳淬火
(参考)SCM-22	>95	>14		C 26~36	38	淬火回火

\* 冲击试验自试样为日本工业标准3号试件(有U形凹口), 鲁布莱特-SF制品根据热处理与否, 可得到表中所列之材料性能。例如, SF-100的性能与SCM-22(铬钼钢)非常接近。

表15 粉末热锻在欧美的应用例〔14〕

① 四速手动变速箱的第一挡齿轮	⑤ 汽车发动机的曲轴	⑨ 汽车变速箱的输入齿圈
② 汽车驱动轴法兰	⑥ 齿轮组件	⑩ 链锯的扣链齿
③ 带齿皮带轮	⑦ 双金属零件	⑪ 小型变速箱的输出齿轮
④ 小型四缸发动机的连杆	⑧ 差速器侧面小齿轮	⑫ 汽车发动机的气门零件

埋地面行车试验和锁紧循环试验皆合格。汽车变速箱齿圈, 性能相当于原铸钢件, 但材料节约33%, 原来消耗4.9磅, 粉末热锻件只3.3磅, 里程三倍于原钢件的行车试验完全合格。

英国G、K、N锻造公司的第一挡齿轮, 原热锻——切削加工法生产材料费用占成本的50%, 而粉末热锻无飞边, 材料利用率达90%以上, 成本显著降低。连杆也是该公司的产品, 由于尺寸精确及重量平衡误差小, 因而去掉了传统的平衡垫, 且无飞边, 提高了材料利用率, 500小时运转试验合格。

## (四) 新设备

### 1. 钢模冷压设备

生产形状简单的小件, 主要发展一种转盘式多工位压力机。如前所述, 美国已可达每分钟1000件。

大型复杂零件的生产发展了大吨位压力机。从1000吨、2000~3000吨、5000吨到最近88,000吨。88,000吨粉末专用压力机是瑞典卡博克斯公司设计制造的, 1972年8月已在瑞典投入运转。该公司还计划为粉末冶金生产制造一种液压和机械相结合的高速压力机, 最大压