

（国外机械工业基本情况）

粉末冶金

北京粉末冶金研究所 编

机械工业部科学技术情报研究所

一九八五年

内容简介 本资料为《国外机械工业基本情况》的粉末冶金部分，主要介绍了世界各主要先进工业国家的金属粉末产量、制品及用途、发展规模、劳动生产率。还介绍节能技术、制粉技术、成形和固结技术、新材料发展动向、后续处理技术、各国主要厂家及科研和行业活动情况。可供粉末冶金的科研和设计人员、大专院校的教学工作者以及企业工程技术人员参考。

粉 末 冶 金

北京粉末冶金研究所主编

*

机械工业部科学技术情报研究所编辑出版

南昌县印刷厂印刷

机械工业出版社发行室发行

*

1985年10月

代号：85—7 定价：1.45元

出 版 说 明

机械工业肩负着为国民经济各部门提供技术装备的重任。为适应四化建设的需要，必须大力发展机械工业。上质量、上品种、上水平，提高经济效益，是今后一个时期机械工业的战略任务。为了借鉴国外机械工业的发展道路、措施方法和经验教训，了解国外机械工业的生产、技术和管理水平，以便探索我国机械工业具有自己特色的发展道路，我们组织编写了第三轮《国外机械工业基本情况》。这一轮是在前两轮的基础上，更全面、系统地介绍了国外机械工业的行业、企业、生产技术和科学研究等方面的综合情况，着重报道了国外机械工业七十年代末和八十年代初的水平以及本世纪末的发展趋向。

第三轮《国外机械工业基本情况》共一百余分册，参加组织编写的主编单位包括研究院所、工厂和高等院校共一百余个，编写人员计达一千余人，本书为《粉末冶金》分册，主编单位是北京粉末冶金研究所，主编执笔人唐华~~唐华~~。~~唐华~~。

机械工业部科学技术情报研究所

目 录

一、概 述

(一) 规模和速度

- 1、金属粉末产量..... (1)
- 2、制品(包括材料)产量及用途..... (3)
- (二) 厂家及生产设备统计..... (5)
- (三) 生产效率..... (6)

二、新技术、新材料

- (一) 综述..... (7)
- (二) 节能技术..... (7)
 - 1、节能的调研..... (7)
 - 2、技术研究..... (8)
- (三) 制粉技术..... (10)
 - 1、金属切屑直接破碎制粉..... (10)
 - 2、金属超细粉..... (12)
 - 3、快速固化粉..... (14)
- (四) 成形和固结技术..... (15)
 - 1、热等静压..... (15)
 - 2、粉末热锻..... (16)
 - 3、特殊成形及固结方法..... (17)
 - 4、热挤压法..... (20)
 - 5、热轧法..... (20)
- (五) 材料的发展..... (20)
 - 1、铁基结构材料..... (20)
 - 2、减摩材料..... (21)
 - 3、陶瓷结构材料..... (22)
 - 4、不锈钢..... (23)
 - 5、高速钢..... (24)
 - 6、陶瓷工具材料..... (26)
 - 7、超合金..... (27)
 - 8、钛合金..... (28)
 - 9、铝合金..... (29)

10、电磁材料	(31)
11、非晶态合金	(31)
12、形状记忆合金	(32)
(六) 后续处理技术	(32)
1、热处理	(32)
2、表面处理	(32)

三、企业(厂家)、研究机械、行业活动

(一) 各国主要厂家	(33)
1、美国、2、加拿大 3、日本 4、英国 5、联邦德国 6、瑞典	
(二) 科研和行业活动	(58)
1、美国、2、日本、3、联邦德国	

粉末冶金技术虽然有悠久的历史，但是只是在1909年用于生产电灯钨丝以后，才开始新的发展时期。例如，采用粉末冶金技术生产电触头材料（1917年）、硬质合金（1923年）、摩擦材料（1929年）、多孔铁基轴承和机械零件（1936年）等，都是现代粉末冶金工业发展的重要里程碑。粉末冶金之所以在工业生产中能取得较快的应用发展，是因为它具有一系列优点，例如：降低难熔金属和耐热材料的加工温度；便于添加各种合金元素以及使材料的组织和成分均匀化，从而获得高性能；便于制成多孔制品和形状复杂或不规则的制品。此外，可以减少或省略机械加工，提高材料利用率，降低生产成本。

目前，从普通机械到精密仪器，从日常生活用品到医疗卫生器具，从五金用具到大型机械，从电子工业到电机，从采矿机械到化工设备，从民用工业到军事工业，从一般技术到尖端技术，都广泛应用粉末冶金材料和制品。

一、概 述

（一）规模和速度

美、日、欧等国粉末冶金工业经历了六十年代平均年增长速度为18%和七十年代平均年增长速度为10%的高速发展〔1〕，近五年来‘即自1979年起，这些国家的工业发展规模和速度发生急剧波动。其原因是经济萧条，特别是汽车工业减产，粉末冶金工业生产随之下降。近两年又出现比整个经济复苏更高速度的回升。这种波动、起伏是近五年粉末冶金工业产量变化的显著特点。

1、金属粉末产量

铁粉是粉末冶金工业的主要原料，其产量在一定程度上反映粉末冶金工业的发展。

北美铁粉产量最大，明显反映出上述波动情况。自1979年末开始减产，至1982年降低到十多年来的最低水平（比1981年降低17%）〔2〕。自1983年起以较大幅度回升（如图1所示）：1983年产量比1982年增加32%，达184000t。其中第1季度比1982年同期增加13%，而第四季度约增加44%〔3〕。此外，在1983年铁粉增产的同时，粉末冶金领域的耗用量比其他领域增加更快，1983年比1982年增加39%，达154000t〔4〕。

上述北美铁粉产量的增长，说明粉末冶金工业的发展越来越迅速，而且比其他经济领域更迅速。

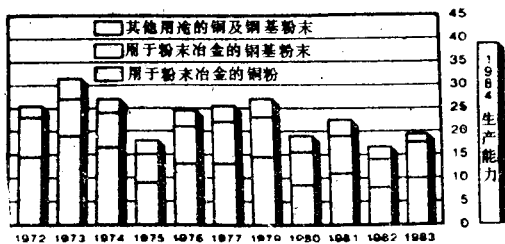


图1、美国历年铁粉产量变化

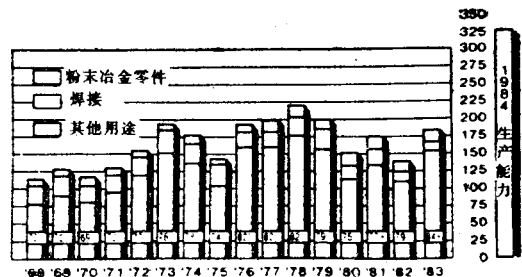


图2、美国历年铜粉产量

日本近几年来铁粉产量如表1所示〔5〕：1979年比1978年大幅度增长，但以后缓慢上升或下降（1982年由1981年的88026t减少到86429t。日本铁粉进口量较大，而且近几年来进口量不断增加。1982年比1981年增加12%，为7121t，1983年进口量超过13000t。

表1 日本近几年铁粉耗用量 (单位：t)

年 度	粉末冶金用	其他用途	出 口	合 计
1978	37,701	21,776	38	59,515
1979	44,176	26,835	383	71,394
1980	50,443	31,721	1,029	83,193
1981	53,496	33,424	1,106	88,026
1982	53,678	31,710	1,041	86,429
1983	59,747	31,476	1,548	92,771

目前铁粉进口量约占全部耗用的15%。主要进口对象是瑞典的霍根纳斯H(Hogana's)公司。

西欧近两年每年铁粉产量增长速度为9%，1983年为58000t，估计1984年为63000t〔6〕，同样是随着汽车的增产而得到较快发展。东欧（除苏联以外）铁粉产量约为8500t〔7〕。

北欧中瑞典的霍根纳斯AB公司铁粉年产量约为170000t。

苏联1981年铁粉产量约50000t。近几年来西德的曼内斯曼(Mannesmann)公司正在协助建立世界最大的铁粉厂，将年产为80000t。这是苏联铁粉产量迅速增加的因素之一。

南朝鲜1980年由日本引进技术，生产钡—铁氧体粉末，到1983年正式投产时，已生产5400t。除用于生产磁性材料以外，向台湾出口1800t〔8〕。

铜粉作为粉末冶金工业原料，产量仅次于铁粉。

北美近几年来铜及铜基粉末产量的发展情况如图2所示，基本趋势与铁粉相似：1982年比1981年降低24%，1983年比1982年增加16%，其中用于粉末冶金零件的产量增加22%。1983年虽然产量增加，但在第1季度比1982年同期降低4%，第4季度比1982年同期增加24%，粉铜产量的增加反映今后与铁粉相同的趋势。

日本1982年铜粉产量为4796t，其中82%用于生产粉末冶金材料和零件。1983年铜粉的耗用量约比1982年增加9%。日本近几年铜粉产量如表2所示：自1980年起大幅度减产，直到1983年开始回升。

表 2

日本近几年铜粉产量

(单位: t)

年 度	用于粉末冶金	其他用途	出 口	合 计
1978	3,306	812	1,307	5,425
1979	3,702	925	1,552	6,179
1980	4,007	879	65	4,951
1981	4,021	811	74	4,906
1982	3,909	776	111	4,796
1983	4,230	809	159	5,198

西欧1982年铜和铜基粉末销售量为12000t, 1983年比1982年减少3~5%。

除铁、铜粉末以外, 各种难熔金属及铝粉等, 都是粉末冶金工业的重要原料。

美国铝粉产量由1969年的1.2万t减少至目前的3万t。

日本1982年钨粉产量为1710t, 大部分用于粉末冶金工业。1982年生产3300t雾化铜—铅合金粉, 用做钢背粉末冶金轴承。约生产300t雾化高速钢粉用做切削工具。1982年约生产13000t铝粉, 用做油漆和印刷用油墨, 另外约有400t铝粉用做多孔轴承、粉末冶金零件以及吸声板。

瑞典1983年用惰性气体雾化法生产6000t不锈钢和镍基粉末。

2、制品(包括材料)产量及其用途

北美1982年生产的铁粉约80%用做粉末冶金零件, 1983年增加到84%。除粉末冶金以外, 铁粉还用于电焊条、切割、电子等领域。美国每年富铁制品耗用1000t铁粉。美国铁粉新的销路是汽车中的金属和半金属刹车带以及衬片等烧结摩擦材料, 用以取代长期以来所用的石棉材料, 而且性能比石棉材料更好, 每年耗用4800t铁粉, 目前美国铁、铜基粉末冶金零件销售额约7亿美元。北美汽车用粉末冶金零件占全部粉末冶金零件产量的60%。粉末冶金零件在不断开辟新的应用领域的同时, 在汽车领域中的应用也有相应发展, 因此长期保持着上述比例关系。美国在这方面所反映出来的情况是: ①汽车制造厂和粉末冶金零件生产厂共同利用粉末冶金技术对节能、降低生产费用和提高制品质量的优点, 与国外竞争; ②粉末锻造连杆和镍铬钼钢凸轮轴等汽车零件的研制成功和投产, 反映出对汽车的应用技术取得的新进展。

日本近几年粉末冶金制品产量约10万t(见表3)。表3中1982年生产的5929t多孔轴承中, 约64%是铁和铁基合金材料, 其余大部分是青铜制品, 另有少量铝基合金制品。青铜轴承中有25%用于如电唱机和磁带录音机之类音响设备。在1982年生产的44546t粉末冶金机械零件中, 约98%是铁和铁基材料, 其余是铜基材料。汽车和摩托车零件占全部粉末冶金零件产量的76%。一般在小客车中用40~60种零件, 平均总重量为3.1kg。1982年生产614t。摩擦材料中添加锡、铝、锌、石墨及硅。刹车衬片和离合器片的成分几乎相同。部分粉末冶金刹车衬片用于高速火车的急刹车(火车最高速度为60m/s)。粉末冶金离合器片一般添加7~15%石墨(约为体积的12~50%)。新的重型推土机主离合器用含25%

表 3

日本近几 粉末冶金制品产量

(单位: t)

制品种类	1978	1979	1980	1981	1982
多孔轴承	6,009	6,444	6,850	6,665	5,929
机械零件	28,819	33,406	41,551	44,401	44,546
摩擦材料	607	668	641	547	614
电触头	228	228	233	202	176
灯泡和灯管材料 (W.Mo)	434	511	550	523	528
集电刷	247	275	266	278	274
磁性材料(硬)	26,774	29,960	37,038	36,276	32,830
磁性材料(软)	19,710	21,526	26,395	25,593	19,934
硬质合金	1,207	1,915	2,194	2,136	2,320
其他	92	113	117	157	232
合计	84,127	95,046	115,835	116,778	107,383

(约为体积的 80%) 石墨的高性能材料。1982年生产的176t电触头中约 38% 用纯钨, 48% 用钨—铜基合金, 18% 用钨—银基合金。8% 钨—铜和钨—银基合金用作电火花机加工的电极棒, 银—镍合金及某些银—氧化镉合金触头全部用于低电流条件。1982年生产的528t粉末冶金灯丝材料中有 67% 用钨, 其余用钼, 在电灯、电阻炉及电子设备中的制品为丝、棒、板、带等形状。1982年生产的274t烧结集电刷中约 90% 为铜基合金, 其余为铁基合金, 其中 85% 的铜基合金用做电车和电动机车的导电弓架材料, 其余用做电机和发电机元件。高速火车的导电弓架带材用熔浸 15~20% 铅的铁基合金 (Fe—Cu—Ni)。这些火车还使用添加 10~15% 铬粉的 Cu—Sn—Pb 合金材料。1982年生产的52764t 磁性材料主要是铁氧体, 其中硬磁材料包括钕铁氧体和钐铁氧体, 83% 的硬磁铁氧体用于扩音器和电机; 软磁材料大部分是锰—锌和镍—锌铁氧体, 其中 83% 用于电视和收音机, 金属基软磁材料用做烧结铁芯和铁—硅—铝磁芯, 1982年生产的2320t 烧结硬质合金中约 52% 用做切削工具, 39% 用做耐磨工具, 其余为矿山和民用工程工具。合金的材料成分为碳化钨基或含碳化钛、碳化钽及碳化铌。

日本生产的铁粉除用于粉末冶金领域以外, 还大量用于表 4 所示的其他用途[9]。

图 3 表示日本粉末冶金成形方法与其他金属成形方法的发展速度对比, 说明粉末冶金制品的增长速度遥遥领先; 自七十年代中期起, 比压铸件和普通锻件的增长速度快 2~3 倍; 此

表 4 日本铁粉用于除粉末冶金以外的其他领域的耗用量

(单位: t)

项 目	1981年	1982年	1982年为1981年的%
焊 条 等	29,572	28,629	97
出 口	1,106	1,041	94

外,在此期间,韧性铸铁件、灰口铸铁件的增长速度处于停滞状态。

联邦德国目前的粉末冶金总产值约为1.0亿马克。1982年粉末冶金制品总产量(其中包括自润滑轴承、过滤器及摩擦材料等)超过18000t。1983年约为19000t。粉末冶金零件主要用于汽车,占66%,电力机械和家庭用具占18%,工业机械占11%,打字机和复印机等办公机械占4%。目前硬质合金年产量约800~900t。

法国1982年粉末冶金制品产量约为7500t。各类制品的产量及厂家数如表5所示。

瑞典1983年粉末冶金制品总产量为1100t。1982年瑞典粉末冶金工业销售总额为8亿美元,出口额占90%。

丹麦目前粉末冶金年产量为700t。

印度10年前粉末冶金零件产量每年约500t,目前年产量为1200t。目前正在扩建原有的粉末冶金零件生产厂,同时增加4家公司,使粉末冶金零件的生产能力达8000t。印度粉末冶金制品的应用领域有汽车、自行车、缝纫机、纺织机械、办公机械、电机、家用器具、打字机、柴油机、泵及农机设备。印度有许多厂家生产用于电机和发电机中的粉末冶金铜——石墨集电刷,同时生产钨—铜、钨—银—镍—银—石墨、银—钨、氧化钨、钨—铜—镍以及钨—银—镍触头材料。其他制品有例如刹车衬片等减摩材料及离合器、金刚石工具等。此外,印度与英国合作建立每年生产330t粉末高速钢的生产能力。为了满足核燃料工业的需要,目前每年约生产120t氧化轴粉。

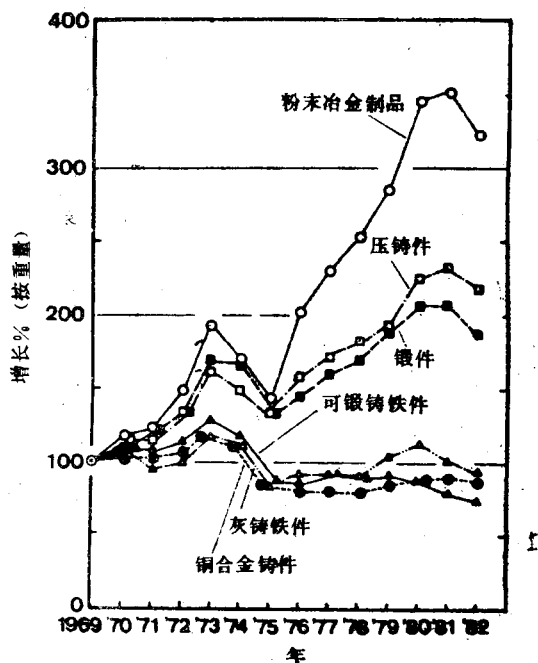


图3 日本1969~1982年各种金属成形方法发展速度对比图(日本政府公布统计数)

表5 法国1982年各类粉末冶金制品产量及厂家数

项 目	机 械 零 件	轴 承	过 滤 器	Mo+W 重 金 属	硬 质 合 金
产 量 (t/年)	5,300	1,000	100	500	300
生 产 厂 家 数 目	3	2	3	2	7

南朝鲜1982年粉末冶金制品产量约5000t,生产能力约10400t。近几年来铁氧体粉末产量迅速增加,以满足电子工业对铁氧体磁体和磁芯的需要。南朝鲜不生产铁粉,粉末冶金用铁粉大部分由瑞典进口,焊条用铁粉大部分由日本进口。

(二) 厂家及生产设备统计

北美约有30家金属粉末生产厂和150家粉末冶金零件生产厂〔10〕。

日本有5个主要铁粉生产厂(川崎制钢、神户制钢、同和铁粉、日本粉末和住友)、4个铜粉厂。4家公司生产日本的大部分钨粉。目前日本在粉末冶金工业中有300台冷等静压机和50台热等静压机。机械和液压压机以及精整压机的吨位一般为10~20t,但目前吨位为400~800t的压机的数目正在增加,用以压制断面为100~120平方厘米的较大制品。烧结炉大部分是网带式或推杆式,有少数动梁式和极少数滚动炉膛式。推杆式炉平均功率为130千瓦,平均生产能力为58Kg/h,网带式炉平均功率为162千瓦,平均生产能力为360kg/n大型网带式炉的功率为216千瓦,生产能力为600Kg/h。广泛使用的保护气氛有分解氨和丁烷或丙烷。——吸热型气体。近来采用氮浓度高的氮—氢气体,而对硬品合金、不锈钢、高速钢及钛基合金采用真空烧结。

西欧有240个烧结零件和材料生产厂,其中半数生产硬质合金,但不包括电磁材料和摩擦材料生产厂。欧洲只有5%的粉末冶金制品是由非粉末冶金专业厂附属生产的(北美有15%,日本20%以上)。西欧1982年购买了90~100台粉末冶金压机以更换原有的1700多台压机中的一部分。目前所使用的液压机有900台,输送带式炉270台,真空烧结炉

国 别	公 司 名 称	占 地 面 积 m ²	人 数	产 量 (或 产 值)	生 产 效 率	主 要 设 备
日 本	住友电气物 伊丹工厂		150人	300t/月 制 品	24t/人年	
	东洋工业公司 P/M部门	5,700	33人	300t/月 制 品	110t/人年 0.6t/m ² 年	
	川 崎 制 铁 公 司		100人	35,000t/年 铁 粉	350t/人年 铁 粉	
	日本粉末冶金 公 司		500人	2000万件/月	48万件/人年	
美 国	Imperial Clevite公司 粉末冶金分部	10,800		6,000t/年 制 品	0.55t/m ² 年	压机60台, 网带炉5台 动梁炉1台
	福特汽车公司		80人	8,000t/年 制 品	100t/人年	压机34台 烧结炉11台
	Pennsylvania 压制金属公司	172,000	385人	8,000t/年 制 品	20t/人年	网带式炉14台
	Brockwag压制 金属公司	69,000	25人	2,500t/年 制 品	10t/人年 0.36t/m ² 年 压制2,500件/时 精整9,000/件时	压机63台 网带炉11台 推杆炉1台
加 拿 大	Imperial Clevite公司	165,600	400	15,000t/年	38t/人年 0.9t/m ² 年	压机25台 网带炉11台

340台，动梁式炉25台〔7〕。

苏联有100多个烧结零件生产厂〔11〕。苏联第11个五年计划及1982年莫斯科全苏粉末冶金会议提出今后10年内全部用新型压机以更新原有的2500台压机。并研制60种型号的烧结炉〔12〕。

(三) 生产效率

典型情况见第6页表

从上表的计算来看，各国每人每年的粉末冶金制品产量约为几十t至100t，铁粉产量达几百t。按厂房占地面积计算，每平方米每年的制品产量约为半t左右。按设备计算，国外利用多工位转盘式铁钻式或压机，压制或精整速度每小时达几千件至1万件；烧结设备多采用网带式烧结炉，每台每年烧结制品产量高达1000t。

二、新技术、新材料

以下所述新技术包括新设备，新材料包括新制品。

(一) 综述

近几年来，关于粉末冶金节能已从理论探讨和调查研究进而得到广泛的证实和认识，而且不断出现新的节能技术和措施，从而使粉末冶金工业更加强在冶金和机械工业中的作用和地位，使粉末冶金技术更有利于取代其他技术。

在制粉技术上，仍然是以传统的还原法和雾化法作为大规模工业生产的主要方法。但近几年的明显发展动向是：1、粉末冶金技术特别有利于生产快速固化粉，从而生产在现代材料科学中极重要的非晶态合金；2、超细金属粉在许多传统的化学、物理制粉法的基础上有了新的突破，从而大大降低生产费用和提高生产效率，扩大应用领域；3、用金属加工废屑直接破碎制粉作为降低粉末生产费用的方法而得到广泛重视，其中用铸铁切屑直接粉碎制粉以烧结成高强度制品的技术有了新的发展。

在粉末成形和热固结技术方面，国外近几年有重要发展。传统的热等静压、热锻、热挤、热轧以及组合烧结等技术有新发展和扩大应用，此外，还出现一些新技术，例如大气压力圈结法（又称CAP法）、注射成型法、超塑性变形法以及后续处理技术等。

在材料方面，除了普通铁基结构材料、减摩擦材料有新的发展以外，更显著的进展是特殊性能材料（例如粉末高速钢、超硬陶瓷等工具材料、陶瓷结构材料，不锈钢，超合金和钛合金等宇航材料，铝合金，不锈钢，摩擦材料，电磁材料，以及在尖端材料科学中极重要的非晶态材料、贮氢金属、高分子材料、超导材料等。预计今后上述粉末冶金特殊性能制品的世界年增长率为20~45%，远远超过预计世界经济年增长速度的4%〔13〕。

以下分别叙述各种技术和材料的发展。

(二) 节能技术

1、节能的调研

自七十年代中期以来，各工业大国在能源紧张的情况下，发表很多关于粉末冶金对节能

的调研文献。其中典型作者有美国的Kaufman、西德的Zapf、意大利的Bocchini以及日本的三菱金属公司。

从各种分析中得出总的结论是：粉末冶金与其他金属加工方法比较，可降低生产中的能耗50%〔14〕。但各国典型调研范围等不统一，因此计算也各有出入。

西德的Zapf只计算由冶炼钢材（棒材或锻件）进行机械加工（车、铣、刨、磨等）的能耗与粉末冶金由压制到最终制品的能耗对比。所得出的结论是：粉末冶金制品的能耗只占机械加工制品的41~60%。

埃及的Assiur大学教授Kassem于1982年引用Zapf的某些数据，以汽车变速箱中同步环为例进行研究，认为：由预制坯精锻到机械加工需要12道工序，而粉末冶金方法只需要8道工序；前者比后者原料耗用量多8倍，能耗多1倍。

美国的Kaufman由二者的原材料（即冶炼钢材和粉末）能耗开始计算（按每吨制品所需热量）。粉末冶金各道工序的能耗如表6所示。美国1975~1977年钢铁工业中每生产1吨钢材所需能耗如表7所示

表6 生产每吨粉末冶金零件所需能耗

工 序	能 耗 (10 ⁶ kJ/t)	占 全 部 %
制 粉	20.045	48
混 料 和 压 制	0.422	1
烧 结	18.252	43
精 加 工	0.523	1
其 他	6.330	7
合 计	45.572	100

1t钢材所需能耗如表7所示。表6与表7虽然能耗单位相同，但不可比的因素是：①粉末冶金零件密度较低，因此1t粉末冶金材料的体积大于1t钢材体积；②冶炼钢还需加上通过精加工和机加工成最终制品中的加工能耗和材料损失能耗。表8表示不同密度的粉末冶金件与钢材加工中材料损失的能耗对比。综合以上因素，密度较低的粉末冶金件比冶炼钢材机加工件可节省能耗50%。

表7 美国1975~1977年钢铁工业中生产1t钢材的能耗

平均能耗	单 位	1975	1976	1977
原 钢	10 ⁶ kJ/t	28.274	28.3795	27.3245
精 炼 钢	10 ⁶ kJ/t	43.677	40.6175	37.558

2、技术研究

节能技术研究有两个重点：制粉和烧结，占全部粉末冶金工业能耗的90%以上。

制粉节能技术将在制粉部分叙述。

表 8

不同密度粉末冶金件与钢材加工中材料损失的能耗对比

粉末冶金件	密度:	6.2	能耗:	33.23
	(g/cm ³)	6.4	(10 ⁶ kJ/t)	34.28
		6.6		35.45
		6.8		36.50
冶炼钢材件	加工材料	0	能耗:	37.56
	损失:	10	(10 ⁶ kJ/t)	41.67
	(%)	20		46.95
		30		53.60
		40		62.56

从以制粉为原料的以后各工序中, 烧结占全部能耗的 80% 以上。据调查, 最普遍使用的网带式炉的热能利用率只 28%, 也就是说, 大部分能耗没有用在制品的直接加热, 而是消耗在对炉壁和网带以及气氛的加热上。各国提出的主要措施如下:

(1) 增加炉内工件的载重, 以 60.9 厘米宽的网带式炉在 1130℃ 下烧结铁基零件为例, 每米网带最大载重可达 50 kg, 但实际上一般平均每米只载重 20 kg。这是因为当载重加大时影响制品质量。最近研究成功的一些方法是:

a、在炉子的排蜡带装设喷嘴喷出用燃料燃烧的热气, 使其中所含的 CO_2 和 H_2O 与在此带蒸发的硬脂酸化合, 使炉中和工件上不残留碳黑, 而且这种热气可以减少保护气氛中含氧量, 提高保护气氛的还原能力, 并使炉子的排蜡带缩短 $\frac{1}{8}$ 。

b、为了在网带上增加工件载重的情况下而工件保持不破碎、不损坏锐边或不变形等, 因此采取将压坯在 300℃ 下预烧或用不锈钢丝网将炉中网带上工件分层隔开。

增加网带上工件载重的节能效果如表 9 所示 [15]: 说明当炉中工件载重增加 1 倍时的各部分热损失降低的百分率, 同时说明用于工件热损耗增加 (由 20% 提高到 34%)。

表 9

Drever 网带式炉 (宽 0.3m, 长 5.2m) 在不同工件载重下的能量利用率

各部分热损耗 %	炉中工件载重 (kg/h)	
	50	100
炉壁损失	44	36
炉端部损失	5	5
气氛升温损失	21	17
网带的热损失	10	8
工件的热损失	20	34
炉中各种热损失合计	100	100
单位工件能耗 (kW·h/kg)	1.1	0.66

(2) 在炉内滴入酒精等液体, 由于极易分解为一氧化碳和氢, 可以缩短工件渗碳时间, 提高工件渗碳效率。

(3) 在烧结炉的排蜡带、烧结带和冷却带用气体或耐火织物进行各带的隔断, 可有效利用保护气氛, 使保护气氛耗用量减少2~3倍。

(4) 将加热元件贴放在陶瓷纤维隔热板之上, 防止热量通过炉壁散失。

(5) 对炉门气体燃烧的余热和排出的废气余热回收用于其它用途。

除以上所述, 有的提出将烧结气氛循环使用, 可减少气体耗用量30%; 有的提出用真空烧结比普通烧结可降低能耗50%; 有的报道已用红外线加热烧除润滑剂和预热, 还可进一步用于烧结和热处理, 热效率由20%提高到90%, 相当于使粉末冶金全部能耗减少22%; 有的提出将后续热处理与烧结结合进行; 有的报道在铁基成分中添加磷铜(Cu₃P)等可使铁基制品的烧结温度降低至970℃, 而烧结温度每降低100℃可节省烧结能耗20%; 有的提出用先进的感应炉可节省能耗30~40%。

(三) 制粉技术

目前在作为制粉技术的还原法和雾化法中, 雾化法的产量比重在不断增加。

近几年国外对制粉技术的报道重点是, 用金属切屑直接破碎制粉, 超细粉和快速固化粉三项。分述如下。

1、金属切屑直接破碎制粉

(1) 各国动态

美国底特律的福特汽车公司与北美两家铁粉厂结合, 利用机加工废屑制粉〔16〕, 打算投资1500万美元, 每年生产50000t铁粉。

日本住友电器公司报道: 日本铸铁切屑价格为4600牌号钢粉的1/10, 而铸铁切屑制成的粉末为钢粉价格的1/3〔17〕。日本每年生产500万t铸铁, 按其中10%成为切屑计算, 那么每年有50万t切屑。如果按汽缸体一项计算, 每件切屑约5千克, 日本每年生产800万辆汽车, 那么汽缸体切屑达4万t。铸铁切屑中含硅, 当制成制品时, 如果所含石墨完全球化, 并通过热处理, 抗拉强度可达1274MPa, 而普通铸铁的抗拉强度只有147~196MPa。

瑞典霍根纳斯AB公司分析利用铁屑制粉可使原料成本降低50%〔16〕。

此外, 西方各国和日本目前每年耗用3万t钨精矿, 其中硬质合金耗用量占全部的52% (美国硬质合金耗用量占全部的65%)。各国钨的回收量平均占总耗用量的20% (美国的回收量较多, 占25~35%), 每年钨的回收量约6000t〔18〕。

(2) 工艺和性能

在利用铁屑粉碎制粉方面, 日本近几年在技术上取得较大进展。

铸铁按其中的石墨形状可分为: ①片状石墨铸铁; ②共晶状石墨铸铁; ③蠕虫状石墨铸铁; ④球状石墨铸铁。

回收铸铁切屑中的主要技术课题是: 如何将石墨含量由3~4%减少到1~2%; 各种粉碎方法(锤击式磨机、球磨机、振动磨机)的效果、难易程度及对压制性的影响; 粉碎后铁粉与石墨粉的分离方法; 铸铁粉的退火条件及对压制性、烧结制品性能的影响; 铸铁粉的粒度分布的影响; 铸铁的粉压制和烧结以及锻造、复烧工艺、对制品性能的影响; 添加纯铁

表10

金属超细粉的制法及特点

制法分类	制法	制法特点	
物理方法	机械粉碎法	用球磨、超声波研磨等方式将金属粉碎	能制造金属间化合物等超细颗粒；所制造的物质种类有局限（只限于脆性物质）；难控制粒径和纯度；生产效率低。
	雾化法	将熔融金属流用气流等使之弥散	很难制成超细的粒度（即粒径1微米以下）；能制成的物质很受局限
	气体蒸发法	将金属在真空或低压气体中蒸发—凝固	容易控制粒径；能制成高纯超细粉；生产效率低；难制得高熔点金属超细粉
	等离子蒸发法	将金属粉末导入电弧等离子中使之变成气体然后凝固；或将金属在等离子火焰中熔化并蒸发	能制得各种金属超细粉；能制得金属间化合物、复合金属超细粉；生产效率低；难控制粒径；需用金属粉为原料。
	电弧散法	在液体或空气中使金属间表生电弧（蒸发—凝固）	能制得各种金属超细粉；生产效率低；难控制粒径
化学方法	热分解法	将金属羧基盐在CO气体中进行热分解	生产效率高；能制造的物质极有限
	气相反应法	将金属氧化物等蒸气通过H ₂ 、CO等进行还原	能连续操作；能制造的物质极有限；生产效率低；难去掉夹杂
	气体还原法	将固体盐在低于熔点的温度下通过H ₂ 、CO等还原。	生产效率高；粒径取决于固体盐的粒径；颗粒容易发生再次凝结；能制造的物质受限制
	沉积法	将金属离子还原后，使之作为金属沉积	生产效率高；难去掉夹杂；能制造的物质有限
	汞合金法	通过电解，使水银电极（副极）间析出汞合金	生产效率低；能制造的物质受限制
新研究的物理化学方法	活性氢—熔融金属反应法（日本金材技研开削）	利用电弧等离子，使经过活化的氢与熔融金属发生反应，使熔融金属强制蒸发—凝固	制得各种金属超细粉；生产效率高；能制得高纯超细颗粒；需要注意控制粒度

粉的比例、效果。

除铁基切屑以外，国外还发展铝屑、铜屑的回收处理。美国芝加哥的IIT研究所自1976年开始研究铝屑的热压法。日本东京大学生产技术研究所研究黄铜切屑的锻造方法。

2、金属超细粉

超细粉一般是指粒度在1微米以下的超细颗粒。国外对超细粉的研究是从六十年代初期随着电子显微镜的出现才开始的。它在现代工业中有着特殊用途，因此发展迅速，例如日本1971年用超细粉生产磁带，当时便提出6年中产量将增加1000倍。

(1) 制法与特性：超细粉的制法很多，大体可分为化学方法和物理方法。早期一般用金属蒸发法，即将金属在低压(0.1至几十托)的惰性气氛(Ar 、 He)中加热，使之蒸发，蒸发法按不同热源细分，例如利用电阻、高频感应、直流电弧、电子束、等离子火焰以及激光等热源。例如，日本在发展初期用高频感应加热，美国用电弧放电加热。日本最初使用的工业生产方法是对金属粉末喷射等离子火焰(最适宜的是用 $He + 15\% H_2$ 混合气体的等离子火焰)，使之熔化，在10至250托的负压下蒸发而得。后来进行各种改进(表10对各种制法简要说明)。

超细粉生产方法的技术关键在于提高生产效率，即要求解决由于蒸发速度慢而使超细粉价贵的问题。为此，日本研究成功一种所谓活性氢—熔融金属反应法，即利用金属在电弧熔化、焊接时氢气体对熔融金属的溶解和放出现象，简便制得超细粉。(图4表示设备示意图)。

用这种方法能大大提高超细粉生产效率。以氢气浓度为50%为例，用这种方法生产的

超细粉发生速度(20 mg/s)比用原来蒸发法的最快蒸发速度(在 1.0×10^{-2} 托真空中的 $1600^\circ C$ 条件下)约快1.5倍。如果在相等气压(0.098 MPa)下的蒸发速度相比，发生速度约快6000倍。因此，新制法为发展超细粉开辟新局面。此外，新制法设备简单，只需在密闭炉中进行电极放电，而不需要蒸发法所用的等离子枪等复杂设备。同时由于利用电弧放电现象，因此耗用电量小(5~20千瓦)，节省能耗，加之生产率高，可以大大降低生产费用[20]。

(2) 用途：由于超细粉处在成分与普通金属块相同的情况下，其电磁特性、光学特性，化学反应性以及烧结性是普通金属块远所不及的，因此用途极广。

以下归纳一些金属超细粉的用途及其材料和粒度[21]：

以下列举一些应用效果显著的典型例子。

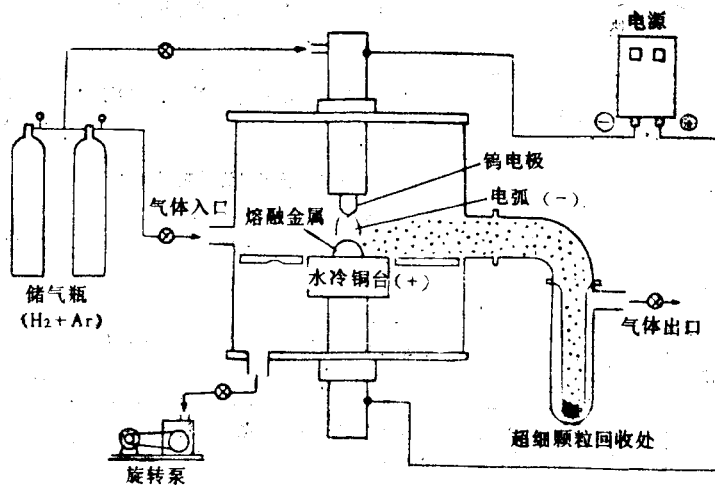


图4 新的超细粉生产设备示意图

图4 新的超细粉生产设备示意图