

第三届
全国金属粉末学术会议

论文集
编辑组

论 文 集

中国金属学会粉末冶金学术委员会

1983

第三届全国金属粉末学术会议论文集

论文集编辑组

中国金属学会粉末冶金学术委员会

1983

中国金属学会第三届全国金属粉末学术会议于1982年10月13日至10月17日在辽宁省鞍山市召开。参加会议的有来自25个省、市、自治区、各有关部及科学院的科研、生产、设计和高等院校81个单位的专家、学者和工程技术人员共139人。会议收到了学术论文68篇，内容广泛、丰富。根据中国金属学会(82)金字第053号文和(83)金字第002号文的要求，我们编辑出版了《第三届全国金属粉末学术会议论文集》。

文集分综述、理论研究、铁粉工艺研究、有色金属及合金粉末研究、金属粉末应用研究、设备及检测技术、标准草案和企业管理经验等八个方面，包括了会议全部论文。由于文集篇幅所限，对有关内容做了一些删减和修改。

参加文集编辑工作的有高一平、胡云秀、谭金起、任崇信、王善春、李森蓉、范吉稔、黄藻枢、张义印和周律文同志。限于时间和编辑水平，文集中可能存在不少缺点和错误，请论文作者和读者批评指正。

本论文集的出版得到了中国金属学会的大力支持，并得到鞍钢、武钢、上海第二冶炼厂、晋江粉末冶金厂和天津粉末冶金厂的赞助，在这里致以深切的谢意。

借此机会，我们向粉末冶金界的专家、学者、工程技术人员和从事金属粉末专业工作的领导及同志们对开展金属粉末专业学术活动给予的支持和关怀致以谢意，并恳切地盼望进一步共同努力，为开创金属粉末工业的新局面，为社会主义现代化建设做出新贡献。

XXXXXXXXXXXX 目 录 XXXXXXXXXXXXXXX

缘 述

国内外铁粉工业的现状与发展	(1)
电焊条用铁粉综述	(10)
铜及铜基粉末生产综述	(17)
镍粉的生产和应用	(23)
钢铁粉末冶金工业的现状与发展	(31)

理论研究

熔融金属雾化过程探讨	(46)
真空度对水雾化高速钢粉末碳还原的热力学分析	(49)
铁粉压制性的研究	(51)
碳中矿物杂质对碳还原氧化铁过程的催化与毒化作用机理	(56)
几种还原铁粉性能的研究	(64)
铁粉粒度组成对其性能的影响	(67)
粒度组成对铁粉松装密度的影响	(72)
粒度及其分布对铁粉性能的影响	(75)
还原率与还原时间的分析	(82)
铁粉中加入硫磺对烧结收缩的影响	(89)
还原铁粉的氧化物和颗粒形状对制品强度的影响	(91)

铁粉工艺研究

国内外几种还原铁粉性能对比分析	(94)
从国内外几种还原铁粉性能对比看我国铁粉质量问题	(111)
高压气雾化制备磁粉及其对磁性能的影响	(116)
提高含钛铁粉纯度及质量的研究	(119)
由海砂磁铁矿制取优质铁粉的精还原工艺研究	(122)
铁矿砂初还原铁粉的二次还原	(127)

综合利用攀枝花钛精矿制取水雾化铁粉的工艺研究	(134)
利用攀钢转炉烟尘制取含钒铁粉的研究	(139)
脱硅浮选生产超级铁精矿的研究	(143)
河铁矿砂制取还原铁粉试验研究	(150)
还原铁粉粒度在生产中的控制	(154)
还原铁粉松装密度的控制	(157)
降低我国铁粉中硅含量是粉末冶金发展的需要	(161)
用转化天然气制取还原气工艺总结	(164)
电焊条用还原铁粉的生产工艺与质量控制	(166)

有色金属及合金粉末研究

高温扩散铜锡合金粉末的研究	(168)
航空用高质量氢化—脱氢 Ti 及 Ti6 Al 4 V 粉末的研究	(172)
包复型复合粉的制备、性能及应用	(178)
化学沉淀法制取超细镍粉研究	(183)
电解法制取高纯细镍粉	(187)
非晶态超细硼粉制备研究	(191)
工艺过程对钴粉质量的影响	(193)
电解造液草酸还原制取金粉实践	(196)
光亮银粉的结构、生成机理和应用	(198)
真空蒸发沉积法生产超细铝、镁粉研究	(201)
化学电源新材料—电池专用锌粉的研制	(203)
对水雾化 Si-Mn 钢粉采用树脂涂层进行脱氧的研究	(207)
氩气雾化法制取高温合金粉末的研究	(209)

金属粉末应用研究

国内外几种焊条用铁粉的对比试验研究	(214)
鞍钢粉末冶金制品的生产和应用	(218)
静电复印机用载体铁粉的试验研究	(221)
二次还原铁粉在静电复印方面的应用	(227)
氧乙炔焰合金粉末喷涂在大型四辊冷轧机支撑辊辊颈上的应用	(231)
铁硅烧结软磁材料的实验与研究	(235)
一种以铁为主要成分的硬质材料——钢结硬质合金	(243)
金属粉末粒度组成对粉末热锻产品性能的影响	(246)

设备及检测技术

二次还原带式炉工艺及设备的改进	(248)
铁粉分机合批机的设计原理与使用效果	(254)
摆式磨粉机在铁粉生产中的应用	(258)
显微镜法测定粉末粒度组成及其误差的讨论	(261)
国产脉冲一库仑定氧仪	(263)
气体容量法测定活性镁	(265)
WLP—202 型平均粒度测定仪测定范围的扩展	(267)
松装密度测定条件对金属粉末松装密度结果的影响	(269)

标准草案和讨论

粉末冶金用还原铁粉 (草案)	(274)
金属粉末松装密度的测定 第一部分: 漏斗法 (草案)	(276)
标准漏斗 (霍尔流速计) 法测定金属粉末的流动性 (草案)	(278)
金属粉末 (不包括硬质合金粉末) 在单轴双向压制中压缩性的测定 (草案)	(280)
制定金属粉末压缩性国家标准测试方法的试验报告	(282)
焊接用铁粉标准讨论	(287)

企业管理经验

大力发展粉末冶金生产, 为社会主义建设服务	(292)
鞍钢综合利用公司铁粉质量管理检查办法	(292)

附 件: *****

第三届全国金属粉末学术会议纪要	(296)
-----------------------	-------

综述

国内外铁粉工业的现状与发展

钢铁研究总院 李献璐 孙向东 黄腾政

一、铁粉生产技术的发展简史和当前国外生产水平

1. 铁粉生产技术的发展简史

从1911年,在瑞典北部矿区,以当地磁铁矿为原料,经还原得到海绵铁开始用于炼钢,后来研磨成铁粉,直接应用。30年代在发展用固体碳还原铁粉的同时,相继发展了多种制粉工艺,如机械粉碎法、电解法等,但产量不大。1948~1970年美国二家公司建立流态床氢还原工艺生产铁粉,年生产能力达到11000吨左右,法国在1965~1972年以流态床工艺生产铁粉,年产铁粉达3000吨的生产能力。用水冶法生产铁粉已形成年产几万吨的生产规模。但由于技术经济等种种原因,现在国外很少采用上述工艺生产铁粉了。而瑞典Hoganas公司用固体碳还原加二次精还原工艺生产的优质海绵铁粉,得到了巩固与发展,形成现在世界上生产海绵铁粉的主要工艺。

另一种生产铁粉的重要工艺,就是1965年美国A.O.Smith公司发展的高压水雾化制取铁粉工艺,后来美国、西德、日本等一些公司,都采用了此种工艺,并将其完善、改进,成为今天世界上广泛应用的水雾化工艺。

2. 国外生产铁粉的主要工艺及其生产能力

(1) 当前国外生产铁粉主要采用固体碳氢还原工艺和高压水雾化工艺

固体碳氢还原工艺,就是以铁精矿或轧钢铁鳞为原料,在隧道窑内用固体碳还原成海绵铁块,粉碎后,再用氢或分解氨进行二次精还原处理,得到性能好、质量稳定的海绵铁粉。固体碳还原铁粉的工艺流程图见图1。1982年,瑞典、美国和日本用固体碳氢还原工艺生产铁粉的总生产能力达到279000吨/年。

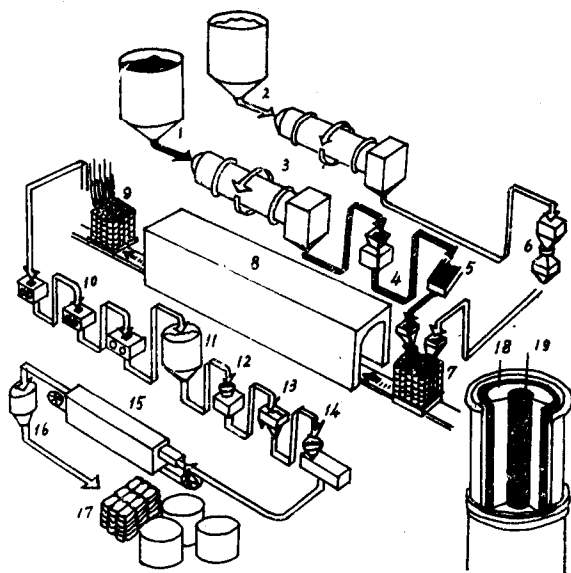


图1 瑞典Hoganas公司固体碳还原铁粉工艺流程

1—焦炭末和与石灰混合后的还原剂;2—铁精矿粉;3—干燥;4—破碎;5—筛分;6—磁选;7—装料碳化硅罐;8—隧道窑还原(还原温度1200℃);9—卸料;10—粗破碎;11—贮料罐;12—细粉碎;13—磁选;14—研磨过筛;15—带式炉还原—退火(退火温度800~900℃);16—粉末混匀;17—自动装袋;18—铁精矿粉;19—还原剂(焦炭粉和石灰)

高压水雾化工艺，就是以低碳熔化铁水为原料，用高压水雾化制取铁粉，达到所要

求的粒度，再用带式炉还原—退火处理，得到低碳、低氧优质铁粉。瑞典Hoganas公司水雾化铁粉的工艺流程图见图2。

到1981年，美国、瑞典、日本、西德等国水雾化铁粉的年生产能力已达到173000吨。

(2) 1982年世界上几个主要地区和国家铁粉生产能力(见表1)

由表1可看到，采用隧道窑固体碳氢还原工艺和水雾化工艺生产的铁粉，占世界铁粉总生产能力的80%以上，其中固体碳氢还原工艺生产的海绵铁粉占总生产能力的50%以上，而水雾化铁粉则占总生产能力的30%以上。仅瑞典Hoganas公司和美国Hoeganaes公司两家生产的海绵铁粉总和就占世界还原铁粉总生产能力的79%。两国水雾化铁粉生产能力之和占世界水雾化铁粉总生产能力的71%。

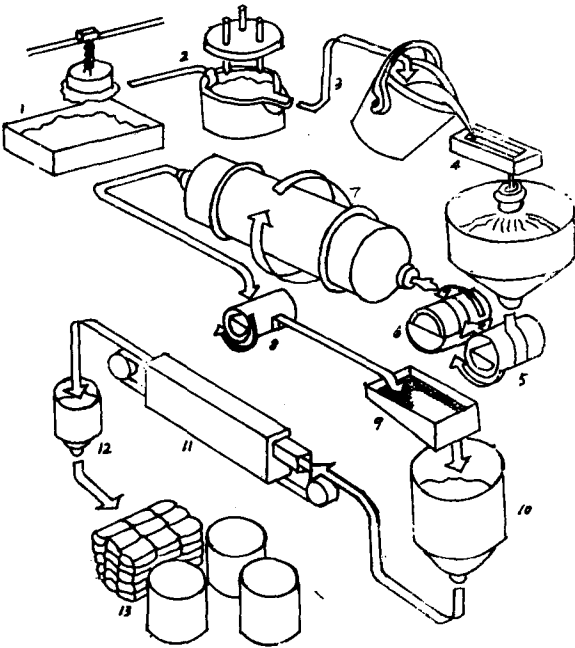


图2 瑞典Hogansa公司水雾化铁粉工艺流程

1—磁选废钢；2—电弧炉熔炼；3—钢水包；4—水雾化；5—湿法磁选；6—脱水；7—回转炉干燥；8—干法磁选；9—筛分；10—混匀粉末；11—带式炉退火—还原；12—贮粉罐；13—成品铁粉包装

表1 1982年西欧、北美、日本等地区铁粉生产能力估算统计表

制粉工艺	铁粉种类	西 欧 T/Y	北 美 T/Y	日 本 T/Y	总 量
还 原 法	海绵铁粉	瑞典165000	美国67000	47000	278000
	其他还原铁粉		美国13000		13000
	还原铁粉总量	165000	80000	47000	292000
熔炼雾化法	水雾化铁粉	瑞典15000 西德18000 意大利5000 西班牙2000	美国107000	26000	173000
	水雾化球磨高碳铁粉		加拿大64000		64000
	空气雾化高碳铁粉	西德16000			16000
	雾化铁粉总量	56000	171000	26000	253000
	铁 粉 总 量	221000	251000	73000	545000

3. 海绵铁粉与雾化铁粉用的不同生产工艺的能量消耗

根据瑞典Hoganas公司资料, 生产一吨NC100·24牌号的海绵铁粉, 能耗为48亿卡, 而生产一吨AHC100·29牌号的雾化铁粉, 能耗为64亿卡。从生产工艺来看, 生产海绵铁粉主要用的是煤和焦炭末, 这是一种低廉的能源, 而生产雾化铁粉用的能耗主要是价格昂贵的电能。

4. 用还原和雾化两种工艺所生产的铁粉特征

用瑞典两种通用牌号铁粉化学成分的区别来说明:

表2列出了瑞典NC100·24牌号海绵铁粉和AHC100·29牌号雾化铁粉的化学分析结果及显微硬度值。

表2 瑞典两个牌号铁粉的化学组成和显微硬度

元素含量 %	海绵铁粉 NC100·24	雾化铁粉 AHC100·29
C	0.008	0.005
Mn	0.03	0.2
Si		0.02
Cr	0.002	0.08
Ni	0.02	0.04
Mo	<0.0001	0.005
Cu	0.003	0.06
Sn	<0.0003	0.006
氧化物 %		
SiO ₂	0.14	0.01
Al ₂ O ₃	0.19	0.01
TiO ₂	0.14	0.002
MgO	0.24	0.006
CaO	0.03	0.003
显微硬度	85	110

从表2中看到, 用雾化工艺制得的铁粉与用还原工艺制得的海绵铁粉相比, 雾化铁粉中的氧化夹杂要低得多, 其压缩性好, 而海绵铁粉具有发达的海绵体, 成型性好。

5. 铁粉品种和应用以及市场销售情况

瑞典Hoganas公司, 1981年铁粉产量为10万吨, 其中6万吨用于制造机械零件, 占铁粉总产量的60%, 3万吨用于制造电焊条, 其余1万吨用于火焰切割、复印机及化学等方面。日本, 1980年铁粉销售量为82360吨, 其中粉末冶金用铁粉占61%, 而焊条及其它用途铁粉占39%。据1982年美国金属粉末生产协会资料, 1981年北美市场销售铁粉总量为174000吨, 其中粉末冶金用铁粉为133980吨, 占总销售量的77%, 焊条用铁粉为22620吨, 占13%; 火焰切割用铁粉为3480吨, 占2%, 其它用途铁粉为13920吨, 占8%。

表3列出了瑞典Hoganas公司生产的粉末冶金制品用铁粉的品种、牌号、性能和用途。

该公司对不同牌号的铁粉, 规定了不同的用途, 以发挥各种不同牌粉的优越性。

日本, 瑞典为提高海绵铁粉的质量, 不断深入研究, 创立了许多新的牌号。最近瑞典对NC100·24牌号铁粉加以改进, 使海绵铁粉的压缩性由6.45克/厘米³提高到6.57克/厘米³, 创立了EC100·24新牌号铁粉, 日本对KIP270牌号还原铁粉加以改进, 降低了铁粉的O₂、C、N₂含量, 创立了KIP—270M新牌号铁粉, 使铁粉的压缩性由6.75克/厘米³提高到6.80克/厘米³。

二、我国铁粉生产概况

1. 国内铁粉生产工艺的发展

我国从1958年开始用固体碳还原工艺生产铁粉, 用的是倒焰窑, 1965年后由倒焰窑发展为隧道窑, 成为至今生产海绵铁粉的主要工艺。水雾化工艺制取铁粉尚处于发展阶段, 目前只能生产少量铁粉和钢粉。此外, 亦发展了羰基法、机械粉碎

表3

瑞典几个通用牌号铁粉的性能和用途

类别	牌 号	松装 密度 g/cm ³	流动性		生坯密度 6.5g/cm ³ 生坯强度 N/mm ²	成形压力 4.2T/cm ²		H ₂ 损%		C%		用 途	瑞典克 郎/吨	1981 年销 售量 比例 %
			s/50g			压缩性 g/cm ³								
			典型	最大		典型	最小	典型	最大	典型	最大			
还 原 铁	MH40·24	2.40	34	35	—	6.30	6.20	0.20	0.45	0.02	0.04	表面光洁度不高的中密度零件	2575	10
	MH40·28	2.80	30	33	—	6.40	6.35	0.20	0.35	0.02	0.04	表面光洁度不高时的高密度细长零件。	2575	
	MH65·17	1.70	44	—	35.3	6.43	—	0.20	0.45	0.01	0.03	摩擦材料	4400	
	MH80·23	2.30	33	35	19.1	6.37	6.20	0.20	0.55	0.07	0.10	自润滑含油轴承	2695	
	NC100·24	2.45	31	32	12.0	6.48	6.45	0.20	0.30	0.01	0.02	中密度零件	2675	
粉	EC100·24	2.45	30	—	10.1	6.58	—	0.15	—	0.01	—	中高密度零件,可取代NC100·24	—	少量
	SC100·26	2.65	28	33	9.3	6.65	6.63	0.10	0.15	0.01	0.01	高密度零件	2795	20
	MH100·28	2.80	27	33	—	6.50	6.45	0.20	0.30	0.01	0.02	高密度细长零件	2845	少量
	MH300·25	2.50	—	—	—	—	—	0.20	0.35	0.01	0.02	光滑表面零件及化学催化剂	4490	
雾化	AHC100·29	2.95	25	28	6.4	6.68	6.65	0.10	0.20	0.01	0.02	高密度零件	3240	3~4
铁粉	ASC100·29	2.95	25	28	4.8	6.82	6.80	0.10	0.15	0.01	0.01	高密度长寿命零件和磁性元件	3720	6~7

注: 1瑞典克郎合人民币0.36元

法、电解法,它只能生产少量铁粉供本单位自用。70年代亦研究过竖炉、回转窑、流态化及水冶法等还原工艺制取铁粉,也取得了一定研究成果,但由于技术上及经济上的原因,目前均未大量生产。

根据国内外发展铁粉的历史经验及现实情况,发展隧道窑固体碳还原工艺生产海绵铁粉及水雾化工艺生产雾化铁粉,应作为发展我国铁粉的主要工艺。

2. 我国铁粉的生产情况

从1965年到1978年,国内先后建立了17条隧道窑(长度为38~68米),产量由最初的几百吨,发展到1.5~2万吨。

我国铁粉厂数量多,规模小,经营分散,工艺设备落后,劳动生产率低,铁粉成本高,质量亦不稳定。国民经济调整后,很多铁粉厂下马,1980年产量下降到4000吨左右。瑞典、美国、日本等国生产

还原铁粉的设备比较先进,每条隧道窑的长度为160~270米,每条窑的生产能力为10000~60000吨/年,劳动生产率达220~300吨/人·年,生产的铁粉成本低。而我国每条隧道窑的年生产能力只有几百吨到1000多吨,劳动生产率为7~10吨/人·年。1982年,我国铁粉生产已集中到5~6个铁粉厂,每个铁粉厂具有1000吨~2000吨的生产能力,1982年铁粉产量回升到7000多吨。1983年可望在提高铁粉质量的基础上,产量达到10000吨左右。

3. 我国的铁粉质量

近年来我国各铁粉厂,不断改进生产工艺及设备,如采取二次精还原工艺,对提高铁粉质量,取得了较好效果。表4列出我国几个铁粉厂近年来铁粉质量提高的情况。从表4中看到,近年来我国铁粉质量有了较大提高,一般,总Fe含量达到

表4

几个铁粉生产厂近年来铁粉质量提高情况

生 产 厂	年 份	化 学 成 份, %					压 缩 性, g/cm ³	
		T _{Fe}	C	H ₂ 损	全O ₂	盐 酸 不 溶 物	4 T/cm ²	5 T/cm ²
A	1976	96.04	0.10	2.92	—	0.32	5.49	—
	1980	99.23	0.024	0.45	0.49	0.08	6.44	6.68
	1981	99.03	0.007	0.37	0.42	0.16	6.48	6.71
B	1976	98.50	0.04	0.92	—	0.37	7.57	—
	1980	98.88	0.082	0.31	0.48	0.38	6.21	6.49
	1981	98.51	0.042	0.37	0.45	0.29	6.32	6.58
C	1976	97.45	0.17	2.60	—	0.46	5.65	—
	1980	98.73	0.042	0.86	0.89	0.23	6.21	6.45
D	1980	98.98	0.095	—	0.72	0.27	6.25	6.50
	1982	98.60	0.018	0.20	—	0.094	6.34	6.63
E	1976	97.59	0.22	—	—	0.51	—	—
	1981	97.68	0.006	9.52	0.81	0.40	6.28	6.55
	1982	98.90	0.004	0.34	0.60	0.39	—	6.56

98.5~99.2%, O₂、C含量大大降低。铁粉压缩性明显提高, 在5吨/厘米²成型压力下压坯密度可达6.5~6.7克/厘米³。某些铁粉的性能已达到日本KIP—255M及瑞典NC100·24一般通用牌号铁粉的质量水平, 但离优质铁粉的质量水平尚有很大的差距。

三、对国内外海绵铁粉性能的分析

根据对国内外铁粉性能的研究分析, 参考有关资料, 对粉末冶金制品用优质铁粉的选用和要求归纳如下:

(1) 总Fe含量高、杂质少、性能稳定。

(2) 对制取中、高密度零件用的铁粉, 要求具有高的压缩性、并兼有合适的成型性。对制取低密度的零件要求其成形性好。并兼有合适的压缩性。

(3) 对铁粉除要求具有良好的压制性外, 还要求具有良好的烧结性, 烧结体的尺寸要稳定。

(4) 要求铁粉硬度低海绵体发达, 以

延长模具使用寿命, 提高产量, 降低成本。

我们看到, 国外铁粉的品种、牌号很多, 仅瑞典Hoganas公司就有十多种牌号(见表3)虽然是纯铁粉, 但每一牌号铁粉各有特性。

下面分三个方面, 对影响铁粉质量因素的化学成分, 物理工艺性能加以分析。

1. 铁粉的化学纯度

(1) 碳含量

从国外铁粉牌号(表6)中看到, 纯铁粉对碳含量要求是严格的, 降低碳含量可提高生坯的压缩性, 减少烧结坯的尺寸变化。现在高质量的铁粉含碳量一般为0.002~0.01%, 当前国内生产的较好铁粉含碳量一般在0.05%左右。实践证明, 铁粉中的碳超过0.1%时, 出现大量Fe₃C相, 超过0.15%的碳时, 为不可用铁粉。

(2) 氧含量

氧对铁粉质量危害颇大, 应尽力将其降低。1967年后, 国外由于采取了二次还原工艺, 大幅度的降低氧含量, 氢损由

0.9%降到0.3%以下, 所以铁粉的压缩性明显提高。铁粉氧含量由0.5%降到0.1%时, 碳的烧损率由0.56%降到0.07%, 低的氧含量能使烧结制品的性能稳定, 减少尺寸收缩率。

(3) 硫、磷含量

铁粉中的S、P为有害杂质, 其含量越低越好, 特别电焊条用铁粉对S、P要求的更为严格, 一般要求在0.02%以下。纯铁粉中的S、P和夹杂物, 使铁粉变硬, 降低了铁粉压制性。

(4) 氮含量

采用分解氨二次精还原的铁粉, N_2 含量一般为30ppm左右, 当 N_2 含量降低到10ppm时, 压坯密度可提高0.05克/厘米³, 如将二次还原后的铁粉再经600℃氢还原处理, N_2 含量可由30ppm降到10ppm以下, 可进一步提高铁粉压制性。

(5) 锰含量

铁粉中的Mn以两种状态存在, 即固溶状态和化合状态。我们对以铁鳞和铁矿为原料制成的还原铁粉进行了相分析见表5。从表5看到, 以铁鳞为原料制成的铁粉所含的Mn, 不但含量高, 而且绝大部

表5 国内两种还原铁粉相分析结果

生产铁粉 的原料	成 品 铁 粉			高 温 处 理 后		说 明
	T _{Mn}	相 分 析, %		相 分 析, %		
	%	固溶Mn	化合Mn (M _n O ₂ ·M _n S)	固溶Mn	化合Mn (M _n O ₂ ·M _n S)	
铁 鳞	0.38	0.06	0.32	0.304	0.076	铁粉高温处理制 度: 在1180℃通 氢的管式炉中, 保温1.5小时, 炉冷至室温
铁 矿 粉	0.18	0.084	0.096	—	—	

分为化合Mn, 而以矿粉为原料制成的铁粉所含的Mn量低, 而且化合Mn量亦低, 又可看到, 以铁鳞为原料制取的海绵铁粉在高温及H₂的还原气氛下, 化合Mn可以大部份转化为固溶Mn。Mn不论以何种状态存在于铁粉中都将影响铁粉的

压制性, 尤其以化合状态存在危害更大。

(6) 表6列出瑞典、日本几个牌号还原铁粉的化学成份。

表6数据代表当前世界上先进牌号纯铁粉的化学成分水平。从表6看到, 任何

表6 瑞典、日本几个牌号还原铁粉的化学成分

铁粉牌号	来 源	原 料 及 制 粉 工 艺	化 学 成 分, %								
			T _F ·	C	全O ₂	H ₂ 损	S	P	Si	Mn	盐 酸 不溶物
KIP-240M	日本	铁鳞还原	99.23	0.002	0.27	0.22	0.006	0.021	0.03	0.20	0.20
KIP-255M	"	"	99.23	0.002	0.30	0.26	0.007	0.015	0.03	0.22	0.13
KIP-270M	"	"	99.23	0.002	0.28	0.24	0.006	0.016	0.03	0.24	0.20
KIP-270Ms	"	"	99.23	0.004	0.31	0.20	0.006	0.015	0.03	0.22	0.16
NC100-24	瑞典	铁矿粉还原	98.93	0.008	0.43	0.21	0.009	0.007	<0.10	<0.10	0.23
SC100-26	"	"	99.28	0.005	0.36	0.15	0.007	0.006	<0.10	<0.10	0.17

一个牌号铁粉，其总Fe含量都在99%以上，而其它成分含量都看成是铁粉中的有害杂，其含量要求愈低愈好。

2. 铁粉的松装密度和流动性

国外铁粉的品种及牌号往往以粒度和松装密度为标志。铁粉的流动性是铁粉重要的工艺参数，它受粒度组成及颗粒形态的影响。铁粉的松装密度直接影响铁粉的压缩性及成型性，海绵铁粉的松装密度为 $1.7\sim 2.8$ 克/厘米³，而水雾化铁粉的松装密度为 $2.6\sim 3.0$ 克/厘米³。

3. 铁粉的压缩性和成型性

在粉末冶金制品生产中，必须掌握铁粉压缩性及成型性的相互关系，在制取高密度制品时，必须选用高松装密度铁粉，因为该种铁粉具有较高的压缩性，但其成型性较差。在制取低密度制品时，宜选用低松装密度、成型性好的铁粉，但其压缩性较差。所以要根据制品的不同用途，选用合适牌号的铁粉。

图3示出瑞典Hoganas公司不同牌号还原铁粉松装密度与生坯强度(成型性)、生坯密度(压缩性)的关系。

由图3可以看出，铁粉的生坯强度(成型性)随着铁粉的松装密度提高而降低，而铁粉的生坯密度(压缩性)随着铁粉的松装密度提高而提高。这一规律对我们认识铁粉的物理—工艺性能及按用途选用合适的铁粉牌号非常重要。表7列出经我们实测的瑞典、日本几个牌号还原铁粉的物理—工艺性能数据。

由表7中亦可看出，还原海绵铁粉松装密度与压缩性及成型性的关系与图3的规律是一致的。图4示出西德Krobsoge烧结材料公司，根据制品的不同用途，制定的相对密度和孔隙度对不同制品要求范围的分类图。

通过对国内外铁粉的上述分析，瑞典、日本等国所生产的铁粉，不但品种多、质量好、性能稳定，而且它们不断结合用途创立新的铁粉牌号。它们对粉末冶金制品用铁粉，都要经过二次精还原处理，甚至还要进行第三次纯氢还原，以提高铁粉纯度。由此可以看到，国外铁粉生产厂极其重视提高铁粉质量及革新工艺。上述特点都是值得我国发展铁粉工业借鉴的。

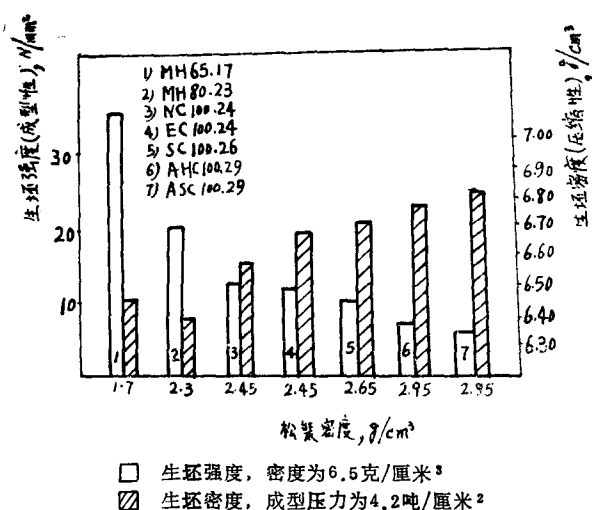


图3 瑞典不同牌号铁粉松装密度与生坯强度及生坯密度的关系

表7

瑞典、日本几个牌号还原铁粉的物理—工艺性能

国 家	铁粉牌号	松装密度 g/cm ³	流 动 性 S/50g	成 形 压 力, T/cm ²													
				2	3	4	5	6	7	8	2	3	4	5	6	7	
				生坯密度 (压缩性) g/cm ³							生坯抗弯强度 (成形性) kg/mm ²						
日 本	KIP—240M	2.41	33.6	5.46	5.98	6.40	6.70	6.88	7.00	7.08	0.40	0.70	1.10	1.33	1.54	1.67	
瑞 典	NC100.24	2.48	31.6	5.54	6.08	6.44	6.70	6.86	6.96	7.02	0.40	0.80	1.18	1.51	2.14	2.14	
日 本	KIP—255M	2.63	31.0	5.47	6.04	6.44	6.70	6.91	7.02	7.09	0.22	0.43	0.62	0.90	1.17	1.41	
日 本	KIP—270M	2.72	29.4	5.57	6.12	6.50	6.76	7.00	7.05	7.11	0.11	0.33	0.57	0.68	0.86	1.05	
瑞 典	SC100.26	2.72	29.9	5.57	6.28	6.63	6.86	7.00	7.08	7.12	0.32	0.57	1.00	1.15	1.44	1.45	

类别	相对密度 R×%	孔隙度, %	优先应用
AF	< 73	> 27	过滤器
A	75±2.5	25±2.5	滑动轴承
B	80±2.5	20±2.5	滑动轴承+机械零件
C	85±2.5	15±2.5	同上
D	90±2.5	10±2.5	机械零件
E	94±1.5	6±2.5	同上
F	> 95.5	< 4.5	热成形件
G	> 92	< 8	浸渗制品

图4 制品的密度、孔隙度, 按用途分类图

四、结合国家资源发展我国铁粉工业

1. 一般情况

国外发展铁粉工业, 都是立足于本国原料资源及能源情况。我国钢铁企业每年都有大量的轧钢铁鳞, 其含 Fe 量一般为 74% 左右, 是制取铁粉的好原料。另外, 我国亦发现有多处铁矿适合用于制取优质铁粉, 亦是制取水雾化铁粉的好原料。表 8 列出我国几种铁精矿粉与国外铁精矿粉的比较。

由表 8 看到, 我国本溪南芬铁精矿与瑞典基律纳铁精矿相似, 它不但储量大, 可选性好, 而且 Fe 的含量高, 是发

展还原铁粉的很好原料。

以我国铁矿资源为原料, 选择合适的制粉工艺, 可得到总 Fe 含量达 98.5% 以上的优质铁粉, 铁粉的化学纯度见表 9。

2. 结合我国资源, 发展铁粉生产的几点建议

(1) 用冶金工厂优质沸腾钢的轧钢铁鳞为原料, 采用固体碳还原加二次精还原工艺, 生产优质铁粉, 是当前重点的发展工艺, 在原料和能源有条件的钢铁企业中, 建设 1~2 个年产量万吨以上的铁粉厂。

(2) 以优质铁精矿为原料, 用固体碳还原加二次精还原工艺, 建立一个年产 3 万吨左右的优质铁粉厂。

(3) 发展水雾化工艺, 以废钢为原

表8

我国几种铁精矿粉与国外铁精矿粉的比较

铁 矿 来 源	铁 矿 的 化 学 成 分, %											储 量
	T _{Fe}	FeO	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	TiO ₂	Mn	S	P	
福建晋江海砂	70.80	Fe ₃ O ₄ 83.9	14.9	0.38	—	—	—	—	0.16	0.007	0.014	约300万吨
河南光山河砂	70.29	—	—	0.84	0.55	0.34	0.06	0.57	0.20	0.012	0.015	约70万
安徽霍邱铁矿	70.65	Fe ₃ O ₄ 96.74	0.2	1.73	0.40	0.54	<0.1	—	0.04	0.018	0.015	约6亿吨
辽宁本溪南芬铁矿	71.35	29.24	68.37	1.32	0.13	0.09	0.09	0.05	0.03	0.021	0.006	约8亿吨
瑞典基律纳铁精矿	71.5	—	—	0.6	0.28	0.20	0.30	—	—	—	0.010	约8亿吨
加拿大魁北克阿兰德钛铁矿	41.42	26.3	30.0	1.8	2.3	0.15	0.55	37.3	—	0.075	0.015	可作铁粉原料10亿吨以上
四川攀枝花钛铁矿	33.56	32.55	—	1.98	0.88	0.89	5.16	46.52	—	0.8	0.018	可作铁粉原料10亿吨以上

表9

由精矿粉制取的铁粉化学成份

铁 粉 名 称	化 学 成 份, %								
	T _{Fe}	C	Si	Mn	S	P	H ₂ 损	全O ₂	盐酸不溶物
晋江海砂铁矿还原铁粉	98.92	0.008	< 0.05	0.16	0.007	0.030	0.23	0.49	0.39~0.68
安徽霍邱铁矿还原铁粉	98.78	0.002	< 0.05	<0.053	0.005	0.010	0.28	0.37	0.26
攀枝花矿熔化分离工艺水雾化铁粉	99.55	0.01	0.09	0.03	0.008	0.018	—	0.14	0.16

料,或综合利用攀枝花钛精矿熔化分离所得铁水,直接用高压水雾化成铁粉,作为制取高密度、高强度制品的铁粉品种,建立一个年产量为一万吨的水雾化铁粉生产厂。

以上意见如在六五和七五规划中,分期落实,预先有长远的计划安排,我国可形成年产量为6万吨铁粉的生产能力,以适应国民经济的发展需要。

(上接第22页)

入其他元素)是改变粉末性能的重要手段,并具有广阔的前途。

苏联在电解过程中掺入氯和钠镁铝离子已达到了控制颗粒形状和松装密度的目的。

美国的芝加哥粉末金属产品公司,在(70/30)的黄铜中加入3.5%的钴,成功地制得了高强度黄铜粉。

目前,世界各国在锡青铜粉中加入0.02%的磷,能达到控制粉末中氧含量的目的。

由于世界上锡的供应越来越紧张,锡的价格相当于锌的22倍,所以,国外正在着重研究在青铜粉生产中以锌代锡的问题。

参考文献(略)

电焊条用铁粉综述

钢铁研究总院 李献瑞 罗厚智

一、前言

国外电焊条近年来向高效化方向发展。速度很快。不仅在焊条药皮的组成方面。而且在焊条长度方面；不仅应用在低碳钢领域，而且进入了高强钢和合金钢领域，可以认为，高效化是近年来国外电焊条发展的主要动向，大致途径是：

1 大力发展铁粉焊条

铁粉焊条主要是在焊条药皮中加入一定数量的优质铁粉，从而改善了熔滴的过渡状态，不仅促使电弧稳定，再引弧容易，飞溅减少，焊接工艺性能进一步改善，而且大大提高焊条的熔敷效率和焊接生产率，如目前国外生产的“铝—碱型”焊条使用高密度铁粉，平焊最大熔敷效率已到235%。

2 大力发展重力焊条

重力焊条的特点是增加焊条长度，加入铁粉并用一简单夹具，使之能利用焊条本身的重力进行焊接。焊条长，可以节省换焊条的辅助时间，减少断头所占比例，节约材料；焊条长，熔化时间长，一人可同时看管几台设备，这样总效率甚至可以超过自动焊，而设备费用可以少得多。

3 大力推行立向下焊

4 在合金钢领域大力发展高速焊条

前三者都采用涂料中加入铁粉的办法来实现。因此，国外电焊条用铁粉也随焊条高效化的要求得到了迅速发展。

早在二次大战时，瑞典就已详细研究了将铁粉加入到焊条涂料混合物中的工艺。在发展铁粉焊条方面，瑞典居于领先

地位，高效率铁粉焊条的品种和数量都日益增多。瑞典ESAB过去的样本中仅有四种铁粉焊条，1971年的样本中就增加到11种。主要是采用钛型渣系。其次是碱性、铝碱性和酸性，熔敷效率为130~235%。该公司每年从Hoganas公司购进18,000吨铁粉。其中90%为还原铁粉（主要采用W40·29牌号铁粉），10%为雾化铁粉。瑞典生产的铁粉电焊条占全国电焊条总量的64%。

美国在1953年就将铁粉较广泛应用于电焊条工业，主要是在钛型渣系电焊条中加铁粉，其次是在低氢型、纤维素型、氧化铁型等渣系电焊条中加铁粉，铁粉的加入量为5%、25%、30%、50%不等。含铁粉在30%左右的一般用于全位置焊接，含铁粉在50%左右的铁粉电焊条多用于平焊、平角焊等。美国大量生产的E6012钛型焊条已逐步被E6024铁粉焊条（熔敷效率130%）所取代，焊接效率低的低氢E7016焊条也被焊接效率高的E7018（熔敷效率105%）、E7028（熔敷效率130%）焊条所取代。美国铁粉焊条占焊条总量的51%。

日本是造船业很发达的国家之一，广泛使用铁粉焊条。日本的铁粉焊条是在钛型、低氢和氧化铁型等渣系中添加30~50%铁粉。日本每年的铁粉产量不算太高，但用于焊接目的的铁粉消耗量很大，如1974年日本产5万多吨铁粉，而焊接用铁粉高达3万吨，占日本铁粉总消耗量的55%。

西德也广泛使用铁粉焊条，它们多采用熔敷效率为150%，170%，200%的铁粉电焊条，以上不同熔敷效率的铁粉焊条所

占的比例依次为60%，30%，10%。西德的铁粉焊条是在酸性渣系、钛型渣系和碱性渣系中加入铁粉，所占的比例分别为47%，28%，22%。与上述几个国家不同的情况是，西德的酸性渣系比例占的较大。

欧洲（除苏联外）用于焊接目的的铁粉所占比例较大。据统计，1970~1977年间，平均每年使用4万吨焊条用铁粉，占铁粉总产量的41%。欧洲所用的焊条铁粉中，还原铁粉占95%，水雾化铁粉占5%。

目前世界市场上电焊条中铁粉的平均含量为焊条总量的9%，而在斯堪的纳维亚国家中该数字为22%。

二、铁粉用于电焊条及焊接中的几种形式和应用效果

1. 在焊条的涂料中加入10~30%的铁粉，目的是改善焊条的焊接工艺性能，其优点是可使电弧燃烧柔和稳定；可使飞溅减少；中断再引弧容易；脱渣性好，焊缝清洁。

2. 在焊条的涂料中加入30%以上的铁粉（最高达75%），目的在于提高焊条的熔敷效率和焊接生产率。通常把这种在焊条药皮中加入30%以上铁粉或熔敷效率在105%以上的焊条称为铁粉焊条，其优点为：

（1）铁粉同焊芯同时熔入焊缝金属，增大了熔合比，节省了焊条的用量。

（2）熔敷速度和熔敷效率高，与普通焊条相比，其熔敷效率可提高0.3~2.5倍。

（3）采用铁粉焊条可节省优质的焊条钢及铁合金。

（4）采用铁粉焊条可省电20%左右。

（5）由于药皮中加入了相当数量的铁粉，增大了药皮厚度，并使焊条顶部形

成一较深和较大的杯形空间，在此区域中形成电弧，不被空气污染。这一效应降低了电弧的电流密度，有可能提高电弧电压和电流而不恶化焊接特性或增大熔深，同时焊接过程中焊丝中产生的热部分被药皮吸收，因而可以使用大电流焊接和提高焊接速度。

（6）由于药皮中的铁粉对心部焊丝有冷却作用，因此使用这些焊条时，焊条和熔池在高焊接电流下过热程度较小，凝固速度较快，因此使焊缝金属晶粒组织较细，强度和韧性较好。

3. 铁粉作填充剂

（1）管状焊丝：用铁皮卷成管，管内装入铁粉和各种合金，制成管状焊丝，用于一些合金钢的焊接。

（2）作填充用“焊粒”，填于刨口内，配合自动焊丝。焊剂和衬垫，用于厚板的单面焊缝，有可能获得较一般埋弧自动焊更为优质而经济的焊接效果。

三、国外电焊条用铁粉的概况

国外铁粉生产方法很多，但形成较大生产能力的主要是还原法和雾化法，用这两种方法生产的铁粉约占世界铁粉总产量的95%。根据苏联“Сталь”杂志1981，№7报导的资料，世界上用还原法和雾化工艺获得的粉末比例分别为54%和46%。目前，世界各国的铁粉总产量约在50万吨左右（其生产能力要大得多）。这些铁粉主要用于粉末冶金、焊接及其他方面。粗略估计，焊接用铁粉约占铁粉总产量的25%左右。

1. 瑞典

瑞典Hoganas公司用优质铁精矿固体碳还原法和雾化法生产铁粉和钢粉，目前的生产能力达16.5万吨/年，1980年，该公司铁粉的产量为10万吨，其中3万吨是