

钢铁粉末生产

冶金工业出版社

钢铁粉末生产

韩凤麟 葛昌纯 编

冶金工业出版社

钢 铁 粉 末 生 产

韩凤麟 葛昌纯 编

*

冶金工业出版社出版

(北京灯市口74号)

新华书店北京发行所发行

冶金工业出版社印刷厂印刷

*

850×1168 1/32 印张 11 3/4 插页 1 字数 312 千字

1981年 5月第一版 1981年 5月第一次印刷

印数 00,001~2,700 册

统一书号: 15062·3650 定价1.50元

序 言

现代粉末冶金由于其独特的工艺特点和显著的技术经济效果，在各工业先进国家发展都很快。现在，粉末冶金制品和材料已广泛应用于各个工业部门。

铁基粉末冶金是现代粉末冶金工业的一个重要分支，也是当前粉末冶金研究中最活跃的领域。铁粉和钢粉是铁基粉末冶金工业的基本原料。因此，铁、钢粉末的生产技术水平是衡量一个国家粉末冶金工业发展水平的重要标志。另外，铁粉还是焊接工业，火焰切割及其它一些工业部门的重要原料。

铁、钢粉末的工业生产虽已有五十多年历史，但关于铁、钢粉末的生产还没有一本系统的专著。R.Kieffer与W.Hotop 1948年所著“Sintereisen und Sinterstahl”和Г.В. Самсонов与С.Я.Плоткин编的1957年出版的《Производство Железного Порошка》等书只是原则性地评述了铁、钢粉末生产，其内容已远远不能满足现代铁、钢粉末生产的需要。近二十几年来，各国对铁、钢粉末的生产、性能检验进行了大量的试验研究，有关文献分散在杂志、专利及报告中。为了适应我国铁、钢粉末生产和铁基粉末冶金工业发展的需要，我们编写了本书。书中对铁、钢粉末的生产，性能及检验方法等进行了较系统的评述。本书可供从事粉末冶金和铁、钢粉末生产的科研工作者、技术人员和工人参考，也可作为高等学校粉末冶金专业的教学参考书。

本书第一至四章和第八、九两章由韩凤麟执笔，第五、六两章由葛昌纯执笔，第七章由韩凤麟、葛昌纯执笔，全稿由韩凤麟整理、校订。初稿承北京钢铁学院赖和怡副教授、东北工学院粉末冶金教研室、冶金工业部钢铁研究总院四室铁粉组和原料组有关同志审阅，并提出不少宝贵意见，特致以深切谢意。

由于我们水平有限，错误不当之处，敬请指正。

编 者

1979年12月

35831

目 录

序言

第一章 概论	1
第一节 铁粉制取方法发展概况.....	1
第二节 铁粉是一类重要冶金产品.....	2
第三节 铁粉生产发展趋向.....	7
第二章 还原铁粉的生产	12
第一节 原料.....	12
第二节 还原铁粉生产工艺.....	33
第三节 还原铁粉生产过程中的一些物理化学问题.....	78
第三章 还原合金铁粉与合金钢粉的生产	98
第一节 用共还原法制取合金铁粉.....	98
第二节 部分预合金铁粉的制取与性能.....	101
第三节 用氢化钙共还原法制取合金钢粉.....	107
第四节 用氢化钙共还原法制取不锈钢粉.....	114
第五节 用氢化钙共还原法制取镍铬合金粉.....	119
第六节 用氢化钙共还原法制取司太利特合金粉.....	123
第四章 电解铁粉的生产	126
第一节 电解法制取铁粉的一些理论与工艺问题.....	126
第二节 电解法制取铁粉的生产工艺.....	136
第三节 汞阴极电解制取铁粉.....	143
第五章 雾化法制粉概论	147
第一节 雾化法制粉的优缺点.....	147
第二节 雾化法制粉发展概况.....	148
第三节 影响雾化粉末性能的工艺因素.....	157
第四节 雾化法制取粉末的物理化学原理.....	162
第五节 水雾化工艺.....	188

第六节	气体雾化工艺	201
第七节	喷雾锻造与喷雾轧制	205
第六章	雾化钢铁粉末的生产	211
第一节	雾化铁粉的生产	211
第二节	磁性金属与合金粉末的生产	224
第三节	雾化不锈钢粉的生产	235
第四节	雾化铁合金粉的生产	239
第五节	雾化高速钢粉的生产	241
第六节	高温合金粉末的生产	248
第七章	制取铁粉的其它方法	260
第一节	用涡流研磨法制取铁粉	260
第二节	用氯化物还原法制取铁粉	263
第三节	用羰基法制取铁粉	265
第八章	铁粉的基本性能	287
第一节	铁粉的化学组成	287
第二节	铁粉的物理性能	290
第三节	铁粉的工艺性能	303
第九章	常用铁粉性能测定方法	315
第一节	铁粉取样方法	315
第二节	铁粉化学成分测定方法	320
第三节	铁粉物理—工艺性能测定方法	327
附录一	中华人民共和国冶金工业部还原铁粉	
	标准YB2007—78	344
附录二	日本工业标准JIS H2601—1970 铁粉	346
附录三	苏联国家标准ГОСТ 9849—61 B56 铁粉	349
附录四	瑞典霍根纳斯公司铁粉标准	354
附录五	日本川崎还原铁粉技术标准	356
附录六	西德曼奈斯曼粉末金属公司雾化合金铁粉、	
	钢粉技术标准	358
附录七	国外一些生产铁粉的工厂概况	360
	参考文献	365

第一章 概 论

粉末冶金是一门正在迅速发展的技术学科，用粉末冶金技术制造的各种金属材料和制品，在国民经济的发展中起着越来越重要的作用。

现在，用粉末冶金法可以制造各种机械零件、硬质合金、难熔金属、减摩材料、摩擦材料、磁性材料、电工合金、多孔金属材料、高温合金等。

在粉末冶金工业中，粉末冶金铁基材料与制品的生产占有相当大比重。铁粉的生产状况与规模，铁粉的品种、质量及成本，对粉末冶金工业的发展都有重要影响。

铁粉主要用于粉末冶金工业、焊条制造及火焰切割等方面。美国1976年铁粉的装运量为195,000吨，其中约160,000吨用于制造粉末冶金机械零件。这就是说，82%铁粉用于粉末冶金生产。我国目前生产的铁粉几乎全部用于制造粉末冶金机械零件。

第一节 铁粉制取方法发展概况

20世纪20年代德国学者沙乌瓦尔德（Sauerwald）就研究过铁粉末冶金。他用的铁粉是由化学纯氧化铁还原的铁粉和电解铁粉。

1927年德国组织了羰基铁粉的大量生产，这是最早的铁粉工业生产。

19世纪30年代初期，粉末冶金机械零件生产开始发展。由于羰基铁粉价格高，德国研究出了涡流研磨法，也叫哈麦塔克（Hametag）法。

1936年，瑞典霍根纳斯公司开始用磁铁矿精矿粉制造海绵铁生产铁粉。当时，还原铁粉虽然纯度较低，但价格比羰基铁粉、电解铁粉及涡流铁粉便宜，因此，开始用于制造粉末冶金机械零

件。以后，为改进铁粉质量，增加了二次还原处理。

19世纪40年代铁粉生产的重要发展是出现了雾化法。当时雾化法有二个：DPG法与RZ法。DPG法是当时德国粉末冶金公司(Deutsche Pulvermetallurgische Gesellschaft)研制的，以其德文名字的字头DPG命名。RZ法是德国曼奈斯曼(Mannesmann)钢管厂的研究所1942年研究出的。名称RZ是由铸铁—铁鳞(Roheisen-Zunder)的德文字头组合而成。

19世纪50年代苏联详细地研究了转化天然气与固体碳联合还原法。

19世纪60年代前期苏联研究了氯化钙共还原法，并用这种方法生产了高合金钢粉。

19世纪60年代后期，美国发展了高压水雾化法〔1、2〕。这种方法不仅适用于大量生产优质铁粉、低合金钢粉，而且，可用于制造各种合金钢粉，甚至高速钢粉。这一时期还发展了惰性气体雾化法〔2〕，旋转电极法(REP法)，真空雾化法，超声波雾化法等许多方法。

我国铁粉生产起始于1956年，用哈麦塔克法生产少量的纯铁粉。由于铁基含油轴承生产发展的需要，1958年开始发展还原铁粉生产。60年代中期研究和组织了羰基铁粉生产。70年代中期发展了固体碳共还原制取铁-钼合金粉的方法。

在用雾化法制造铁粉、低合金钢粉和高合金钢粉方面，研究了用雾化法制取不锈钢粉和用氮气雾化法制取W12Cr4V5Co5等高速钢粉，以及CrW5、Cr18Ni11Si4AlTi等多种合金钢粉；还研究了用水雾化法制取Fe-0.85Cu-0.5Mo与Fe-2Cu-0.5Mo低合金钢粉。

第二节 铁粉是一类重要冶金产品

铁粉是国民经济，特别是机械制造工业不可缺少的一类金属原料。因此，和黑色与有色冶金产品一样，铁粉也是一类必须符合严格的物理—化学性能要求的冶金产品。铁粉主要用于粉末冶

金工业、电焊条制造业及火焰切割与清理上。

一、用粉末冶金法制造机械零件

机械零件一般是用铸、锻、冲压、焊接等金属加工法成形的。这些加工方法材料利用率低、成本高，公害和劳动环境卫生方面的问题也日益明显化，而用粉末冶金法制造机械零件具有节省材料与工时，易于自动化，容易组织大量生产，易于建立舒适的劳动环境等优点，从而引起了普遍重视，得到了迅速发展。

另外，用粉末冶金法制造机械零件还有下列好处：

1. 可将几个零件一体化设计、制造；
2. 大量生产时重复性好；
3. 零件表面光洁度好；
4. 可制造形状复杂的零件；
5. 需要时，制造的零件可具有自润滑性；
6. 可得到所需要的使用性能；可将不同材料或不相熔合材料的不同特点结合起来，制成具有特殊性能的材料与制品。

粉末冶金机械零件生产的迅速发展，促进了铁粉生产的发展，同时，对铁粉质量要求愈来愈高。图1-1至图1-3清楚地表明了这一趋向，它们分别表明美国与加拿大、西欧及日本的铁粉与粉末冶金机械零件1965~1978年的装运量。

由图1-1~1-3可看出，1978年北美、欧洲和日本的铁粉装运量合计已达380000吨，粉末冶金机械零件产量约为260000吨。尤其重要的是粉末冶金机械零件的产量70年代比60年代后半期成倍地增长。为了满足粉末冶金工业发展的需要，铁粉的生产能力也在迅速增大。表1-1示出北美、西欧和日本1979年的铁粉生产能力^[3]。

粉末冶金机械零件在我国的农机、汽车、机床、仪器仪表、冶金、轻工、纺织机械制造等工业中都已获得广泛应用，并取得了良好技术—经济效果。据不完全统计，1977年粉末冶金机械零件的产量已达23000万件、19300吨。我国粉末冶金机械零件生产的一个突出特点是，平均单件重量大。譬如，英国生产的粉末冶

金机械零件平均单件重量，1970年为29.2克，而我国约为100克。同时，由于粉末冶金技术的发展，粉末冶金零件大型化的趋向日益明显。例如，我国用粉末冶金锻造制造的零件重量已达22公斤。这些情况表明，铁粉在我国机械制造业中已成为一类重要金属原料。大量地生产廉价、优质铁粉，已成为我国粉末冶金工业发展中急需解决的一项重大课题。

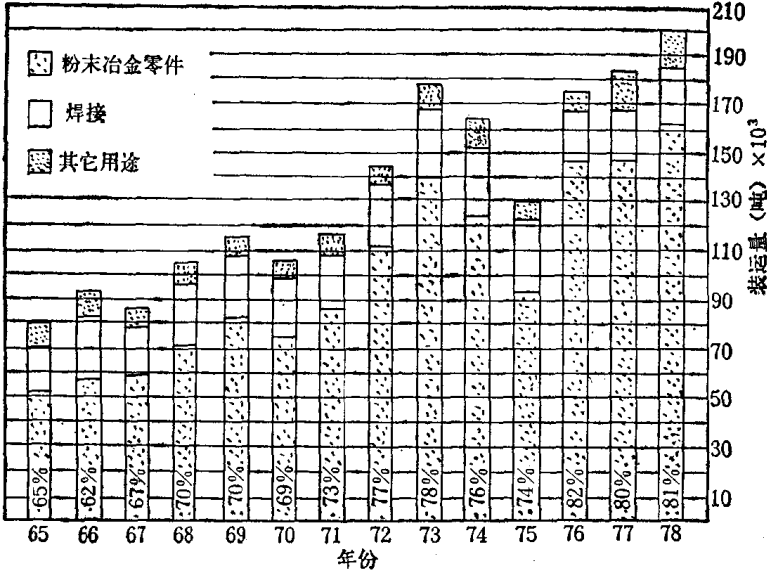


图 1-1 1965~1978年美国与加拿大铁粉与粉末冶金机械零件装运量^[3]

二、电焊条生产

由图1-1可看出，铁粉不仅用于制造粉末冶金机械零件，在一些先进工业国家，如瑞典、西德、日本、美国等都有大量铁粉用于电焊条生产。瑞典生产的电焊条中，铁粉约占其重量的25%。1976年瑞典用于制造电焊条的铁粉达10000吨。

铁粉主要以三种形式用于电焊条生产与焊接。在焊条药皮中加入50%以上铁粉（现在最多的达到75%），以增高焊条的收敷率与熔敷率，这种焊条通常叫做铁粉焊条。在焊条药皮中加入

10~30%铁粉，以改善焊条的焊接工艺性能。铁粉用于电焊条生产与焊接的第三种形式是作填充剂。譬如，用铁粉作填充“焊粒”，填充于刨口内，配合以自动焊丝、焊剂和衬垫，用于焊接厚板的单面焊缝比一般埋弧自动焊的效果好。铁粉也用作管状焊丝的填充剂；用铁皮卷成管，将铁粉和各种合金粉装入管中，即制成管状焊丝，用于合金钢焊接。

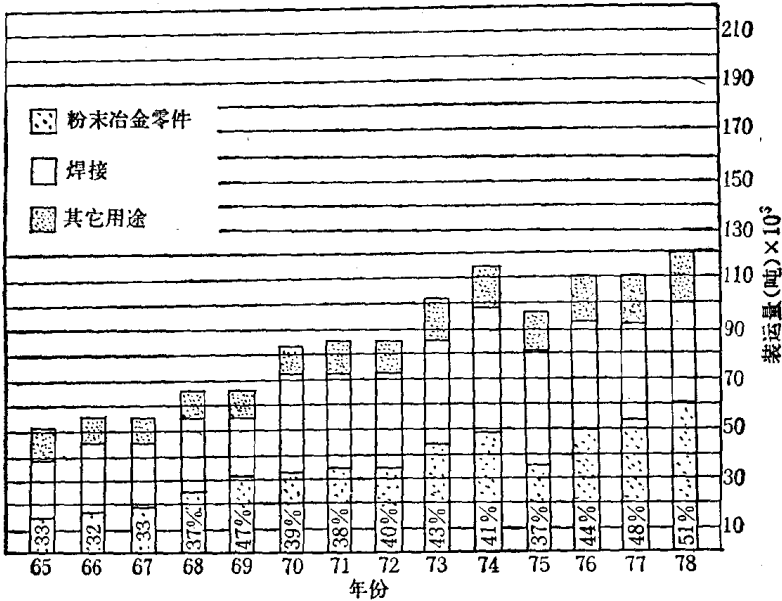


图 1-2 1965~1978年欧洲铁粉与粉末冶金机械零件装运量^[3]

铁粉焊条的主要优点是：

1. 铁粉和焊芯同时熔入焊缝金属。增大熔合比，节省焊条用量；

2. 收敷率高，可提高焊接效率；

3. 节省优质焊条钢和铁合金；

4. 可节省电力20%左右；

5. 可采用依棒焊接，减轻焊工的体力劳动强度。

药皮中加有10~30%铁粉的焊条还具有以下优点：

1. 可使电弧燃烧柔和稳定；
2. 可减少飞溅；
3. 中断再引弧容易；
4. 焊缝清洁。

为了适应电焊条生产的需要，近30年来，研制和生产了许多种牌号的电焊条用铁粉。譬如，瑞典霍根纳斯公司生产10种牌号的电焊条铁粉，其铁粉产量的37%用于电焊条方面。

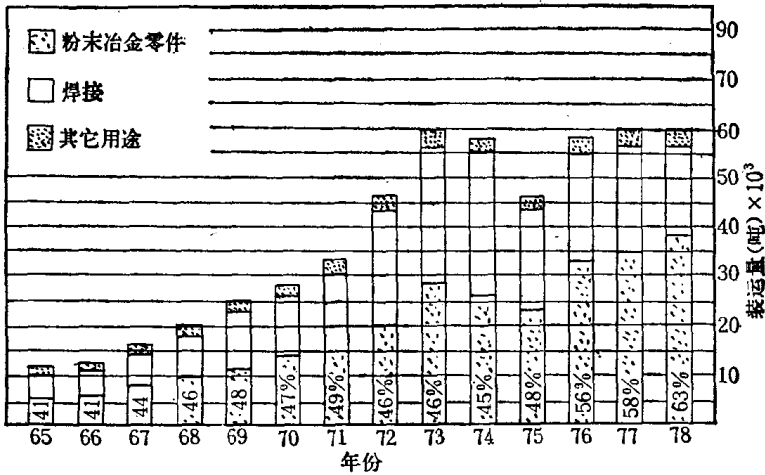


图 1-3 1965~1978年日本铁粉与粉末冶金机械零件装运量⁽³⁾

三、火焰切割与清理

火焰切割与清理是铁粉的另外一项重要用途，美国在这方面每年约使用铁粉7000吨。用氢氧焰或乙炔焰切割耐火材料（如混凝土）时，将铁粉加入火焰中，可增高火焰温度。这时生成的熔融氧化铁还起助熔剂作用。如切割不锈钢时，其与难熔氧化物相结合，可将难熔氧化物冲掉，暴露出新鲜金属表面。火焰清理的功能与火焰切割相同，掺有铁粉的火焰，作用似“扫帚”。在钢坯加工前，用其清理钢坯表面的氧化皮与夹杂。

另外，电子工业需要的铁粉量较大，纯度也较高。主要是羰基铁粉、电解铁粉或用氢还原高纯氧化铁制造的铁粉。

表 1-1 北美、西欧和日本1979年的铁粉生产能力 (吨)

	美 国 与加拿大	西 欧	日 本	合 计
还原海绵铁粉	70,000	155,000	47,000	272,000
其它还原铁粉	13,000	—	—	13,000
还原铁粉合计	83,000	155,000	47,000	285,000
水雾化低碳钢制铁粉	100,000 ^①	39,000	15,000	154,000
水雾化高碳铁制铁粉	53,000	7,000	—	60,000
空气雾化高碳铁制铁粉	—	16,000	—	16,000
雾化铁粉合计	153,000	62,000	15,000	230,000
铁粉共计	236,000	217,000	62,000	515,000

① 这个数字包括霍根纳斯公司(Hoeganaes Corp.)在美国田纳西(Tennessee)的加雷屯(Gallatin)新建的工厂的生产能力,这个工厂于1979年12月投产。

铁粉还广泛用于钢铁制品磁性探伤。在湿法冶金中,铁粉大量地用于从含铜盐的矿水中置换铜。在农业中,铁粉可用于选种。

在日常生活中,铁粉也是不可缺少的。例如用于制做富铁质面包、早餐食品等的大部分面粉和谷物都含有特制的,高纯度医药级铁粉。据说,美国一年用于食品工业的铁粉约80吨[4]。人造咖啡碱生产中也需用上千吨铁粉。

每逢节日,当您看到五彩缤纷,绚丽夺目的焰火时,可曾想到制造焰火也需用铁粉!

因此,铁粉生产与国计民生密切相关,不可等闲视之。

第三节 铁粉生产发展趋向

一、还原法是铁粉生产的主要方法

铁粉的纯度、颗粒形状、粒度大小等物理、化学性能与工艺性能均与制造方法有关,这些性能也是决定粉末冶金零件的成形—烧结条件和强度的重要因素。表1-2列出了几种主要方法生产的铁粉的一般特征和主要用途。表1-3为制造粉末冶金零件用铁粉的选择例。由表1-2与表1-3可看出,还原铁粉价格低,用途

广，性能能满足一般粉末冶金零件生产要求，因此，当前工业用铁粉大部分是用还原法生产的。

表 1-2 铁粉的制造方法和一般特征

制造方法	铁粉的一般特征	主要用途	价 格
铁磷还原法	粉末颗粒为不规则状，中等松装密度，纯度与压缩性好，压坯强度较高，烧结性好	结构零件 焊 条 金属切割	便 宜
铁矿还原法	粉末颗粒为不规则状，松装密度较低，杂质含量较高，压缩性稍差	结构零件 焊 条 金属切割	便 宜
雾化法	粉末颗粒接近球状，松装密度高，流动性好，压坯强度较高	高密度结构零件 粉末锻造零件 过 滤 器 焊 条	比还原铁粉贵
电解法	粉末颗粒为树枝状或片状，松装密度高，纯度好，压制性好	高密度结构零件	比雾化铁粉贵
羰基法	粉末颗粒呈球状，非常细，纯度很高	电子材料	比电解铁粉贵

还原铁粉日益获得广泛应用的另外一个重要因素是铁粉质量不断改进。图1-4为1950~1979年瑞典还原铁粉质量改进概况^[5]。由图中可看出，铁粉的氢还原减重1962年为0.8%，1963年为0.6%，1965年为0.5%，1967年不高于0.3%，1971年为0.2%，1978年不高于0.2%。铁粉的压缩性，以瑞典霍根纳斯的NC 100.24为例，1962年以前为6.3克/厘米³，1964年为6.32克/厘米³，1967年为6.4克/厘米³，1978年为6.45克/厘米³。SC100.26还原铁粉的压缩性高达6.65克/厘米³。

还原铁粉生产的主要趋向是采用二次还原法，就是由铁磷或铁矿还原之海绵铁，破碎后，再用氢或分解氨还原一次。二次还

表 1-3 粉末冶金零件用铁粉的选择例

要求成形—烧结零件具有之特性		为满足提出之要求铁粉应具有之特性	可选用的铁粉例
压缩性	高密度零件	松装密度高，流动性良好，可塑性好 中、低松装密度 松装密度高，流动性良好	还原粉
	中、低密度零件 大型零件		电解粉 雾化粉 ^①
成形性	高强度压坯	松装密度低 松装密度低，流动性良好 松装密度高，流动性良好，压缩比小	还原粉
	形状复杂的压坯		还原粉 + 电解粉
	壁厚且长的压坯		还原粉 雾化粉 ^②
脱模性	粒度粗，流动性良好，可塑性大	电解粉	雾化粉
烧结性	粒度细，比表面大，表面干净	还原粉	还原粉
滑动性，通气性 切削性 热处理	松装密度低，多孔性 非多孔性 松装密度高，可塑性大，含 Mn	还原粉 ^①	渗 S 雾化粉 雾化粉
		还原粉	
		铁磷还原粉	
粉末冶金锻造	流动性良好，可塑性大，耐氧化	还原粉 ^①	雾化粉 ^② 雾化低合金钢粉

① 松装密度低的还原粉；

② 松装密度高的雾化粉。

原法易于实现自动化连续大量生产。用其生产的铁粉质量均匀一致，铁粉颗粒基体为纯铁体（这是铁粉压缩性高的必要条件）；铁粉颗粒具有海绵结构，这对压坯强度与烧结特性都有良好作用。

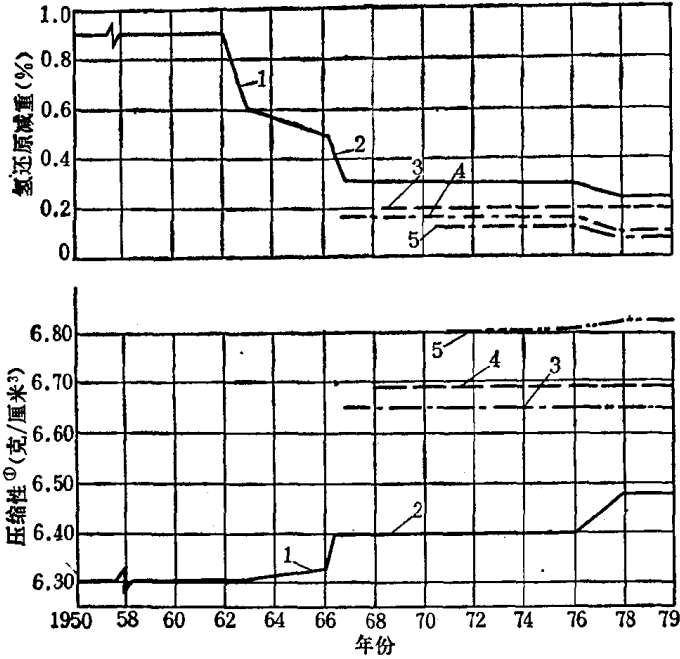


图 1-4 瑞典还原铁粉1950~1979年质量改进概况^[5]

1—MH100.24；2—NC100.24；3—SC100.26；4—AHC100.29；
5—ASC100.29

①单位压制压力 $P = 4.2$ 吨/厘米²

二、水雾化钢铁粉末生产在迅速发展

当粉末冶金铁基零件的密度接近理论值时，压坯中的夹杂物将明显地影响其动力学性能。因此，对冲击与疲劳性能要求严格时，应选用夹杂物含量最少的高纯铁粉。用水雾化法制造的纯铁粉可满足这一要求。

用水雾化法制造纯铁粉时，若能严格选择原料和控制生产过程的变量，则可制得性能优于电解铁粉的高纯铁粉。

水雾化铁粉较适用于生产高密度、高强度、大形粉末冶金零件。因此，近年来水雾化铁粉的生产能力增长十分迅速。这是当前铁粉生产的另一重要趋向。这种铁粉在日本以アトメル300M、500MM；在瑞典以ASC100.29；在加拿大以ATOMET30，以及在美国都已大量生产。

水雾化铁粉的价格比电解铁粉便宜，但比还原铁粉高15%左右。由于用一次压制可达到密度7.2克/厘米³左右，特别适用于制造渗碳淬火的零件和导磁性零件，故有利于扩大粉末冶金铁基零件的应用范围。

随着粉末冶金锻造的发展，当前国内外都十分重视粉末冶金锻造用钢粉的研制。为了提高粉末冶金锻造材料的淬透性，现在主要采用以水雾化法制造的含有合金元素Ni、Mo、Cr或Mn等的低合金钢粉。这种粉末每一颗粒中合金元素都是均匀分布的。因此，其特点是，合金成分偏析极小，烧结时不需要进一步均匀化，可获得稳定的淬火组织。可以预期，水雾化低合金钢粉的生产将随着粉末冶金锻造的发展而获得迅速发展。这也是当前钢铁粉末生产的一个重要趋向。