

雾化法生产金属粉末

23.2

冶金工业出版社

雾化法生产金属粉末

J.K. 贝 多 著

胡云秀 曹勇家 译

李 企 明 校

冶金工业出版社

内 容 提 要

本书是根据J.K.贝多 (BEDDOW) 所著《The Production of Metal Powders by Atomization》一书翻译而成。

书中对近年来国外发表的有关雾化法制粉的文献和专利做了综述,讨论了雾化喷嘴的设计和使用;介绍了雾化法生产的金属粉末特性以及金属粉末性能的检测。

本书可供从事雾化法制粉研究和生产的研究人员和工程技术人员阅读,也可供高等院校有关专业师生参考。

雾化法生产金属粉末

J.K.贝 多 著

胡云秀 曹勇家 译

李企明 校

•

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 3 $\frac{1}{4}$ 字数 100 千字

1985年5月第一版 1985年5月第一次印刷

印数00,001~ 2,500册

统一书号: 15062·4185 定价1.10元

译 者 的 话

制取金属粉末的方法很多，雾化法制粉在粉末冶金工业中应用较为广泛。目前粉末产量中雾化法生产的约占30~50%，个别国家和地区所占比例还大些。国外对此种制粉方法进行了广泛研究，申请专利的也很多，但是，为发展和掌握这种综合性较强的制粉技术还需要进行较为深入的研究。例如，在雾化喷嘴的设计和使用、工艺参数控制、粉末质量研究等方面尚存在许多难题。目前国内很多从事雾化法制粉的工作者很需要更多地了解这方面的发展。

本书是根据美国衣阿华大学工程学院材料工程系副教授 J. K. 贝多(John Keith Beddow)所写“The Production of Metal Powders by Atomization”一书翻译而成。作者根据英、美、联邦德国、日本、奥地利等国的有关专利和文献，全面系统地介绍了气体和水雾化生产金属和合金粉末的最新资料，详细描述了雾化制粉技术和机理。它对我国从事雾化制粉的研究工作者、制粉装置设计工作者是一本有价值的参考书。本书另外的一个特色是在书的正文前面介绍有读者感兴趣的一些最近的研究和发展项目。

本书的第1~4章由胡云秀翻译、第5~6章由曹勇家翻译，全书经李企明校对。

在翻译过程中，承蒙湖南省钢铁研究所方世京，钢铁研究总院王恩珂等的关心和大力支持，在此一并致谢。

限于译者水平，文中错误在所难免，敬请广大读者予以批评指正。

译 者

1983.9.10

序 言

本书简要地介绍了制取金属和合金粉末的雾化工艺。与粉末工艺学中许多其它行业相比，粉末冶金比较年轻，但却有很大潜力，书中充分阐明了这一特点。粉末冶金是一个较新的行业，它既能采用和适应现有的工艺，又能发展本身特有的工艺，因此发展很快。

阅读了书中所引用的所有文献后，必定会得出这样的结论，即虽然雾化的基础理论，如流体力学，热力学，化学和物理学等都是相当发达的学科，但雾化法制取粉末的工艺本身却并不成熟。对于雾化法所制取粉末的特性不能充分描叙就足以说明这一点。测定粒度的方法主要是控制质量，而不是为了严格的科学测量。而且，对雾化法生产的颗粒形态特征的评定至少说也是草率的。我们生产了无数的金属与合金粉末颗粒，而实际上，我们对粉末颗粒除了一般的和极含糊的了解外，还知道得很少。显然，为了将粉末生产和粉末工艺学建立在稳固的科学基础之上，还要作很大的努力。

本书分为六章。从总论开始，而后是文献述评和专利述评。第四章论及喷嘴设计问题。接着是液体金属和由其制取的粉末的性能，最后一章叙述了现今用于表征金属粉末的检测方法。本书引证了115篇参考文献。本书的一个特色是在书的正文前面列有读者感兴趣的一些最近的研究和发展项目。

符 号 和 术 语

α 顶角	d_l 液体金属流直径
γ 粘度	D 金属流直径
γ_K 动粘度	D_n 金属液滴标称直径
γ_L 液体金属粘度	K 能量传递常数
θ_{eff} 雾化的有效效率	k 能量传递常数
λ 液体金属面振动的波长	K_1 常数
μ 液体金属的粘度	n 常数
μ_m 平均粘度	n 每滴水雾化的金属滴数
ν 动粘度	M 液滴的质量流速
ν_g 气体动粘度	M/A 金属对气体的质量流速
ν_L 液体动粘度	m_m 漏包的金属流
ν_m 熔融金属动粘度	P 雾化压力
ρ 密度	p 水的压力
ρ_a 空气密度	r 起始的圆柱体滴的半径
ρ_g 气体密度	R 球面半径
ρ_L 液体金属密度	(Re) 雷诺数
ρ_m 固体金属密度	$S_2 - S_1$ 雾化引起的金属的表面积增量
σ 表面张力	S 液体金属带的厚度
σ_m 几何标准偏差	ν_p 液滴的速度
τ_{def} 达到临界变形经过的时间	ν_g 气体的速度
ϕ 无量纲系	V_w 水喷射速度
A 气体的质量流速	(We) 韦伯数
C 液滴体积	(We_2) 韦伯数
c 常数	W_m 金属的重量
c_Q 流量系数, 无量纲	W_w 水的重量
d_f 最常见部分的粉末颗粒直径	W_p 金属颗粒的速度
d_l 带直径	Y 最常出现的粒度的收得率
d_m 平均颗粒直径	
d_s 液体金属流直径	

目 录

译者的话

序言

符号和术语

最新发展.....	1
1. 总论.....	5
2. 文献综述.....	16
3. 专利综述.....	37
4. 雾化喷嘴的设计和使用.....	57
5. 液体金属及制得粉末的性能.....	84
6. 金属粉末检测.....	96
参考文献.....	113

最新发展

雾化制粉的最近发展报告

以下提要简短地介绍了在金属粉末雾化方面发展的新概念、新成果和革新事项。

CLAL 法雾化机理 (法国L'Air Liquide公司的 P.Karinthi 和法国Creusot-Loire公司的G.Raisson, Y.Honnorat 和 J.M-orlet)

关于在惰性气体射流的作用下雾化液体金属流的机理的研究已有报导。惰性气体射流是由超声冲击波区所构成,其后为亚音速区。几束会聚的气体射流围绕在液体钢流的周围。为避开冲击波,可以控制操作以获得一个冲击液体金属流的散射区,在这一区域气体速度近似亚音速。

利用低熔点(71℃)金属流作为研究雾化的模型。当液滴固化变成粉末时呈不均匀的分布,在液体金属中心线上颗粒集中最多。结晶的速度决定于颗粒的尺寸,最小的颗粒结晶最快,而且比较小的颗粒结晶速度的减慢要小于在区域外比较大的颗粒的结晶。

而且发现颗粒尺寸和操作参数之间的关系与工业上的雾化钢粉所获得的结果是相一致的。研究方案导致用于雾化液体钢流的CLAL方法(Creusot-Loire, Air Liquide)的发展。此种方法气体消耗低,为200立升/公斤粉末。

用于生产粉末的熔融金属轧制雾化法 (威尔士大学学院 A. R.E.Singer和A.Roche)

讨论了熔融金属雾化新方法应用于钢、铜、铝、铅和锡中的进

展。设备是由一对高速辊所组成，辊表面为低热导材料，两个轧辊在同一水平面上呈0.002英寸间隙的辊缝，以相对方向进行旋转。供给的熔融金属流流入轧辊中。通过对轧辊速度在1000~10000转/分间的选择，可以系统地改变所形成的颗粒的平均尺寸。此种方法对于轧辊表面和熔融金属之间的气体或液体薄膜的存在以及有关熔融金属供给的饱和度是敏感的。

此方法较通常的雾化法所需的能量低，而且生产效率很高。

用于生产高纯度金属粉末的液体金属滴落（联邦德国马克斯-普朗克冶金研究所的 F.Aldinger, E.Link, G.Petzow 和 N.Claussen）

液体金属通过坩埚底的漏眼流到真空或充有惰性气体的室内，并在其中分散成球形的颗粒。当使用小的漏眼直径时，利用氢气压力使金属流被压出漏眼。此种方法可防止易氧化的金属和合金表面的沾污（超合金，铍和钛合金）。对于制取细的和粗的粉末都可以应用。

重要的变量是漏眼直径、熔融金属流的速度、比重，以及液体金属的表面张力。浇注时强使液体金属振动（50~1000Hz），可获得狭的颗粒分布。同时，随着频率的增加颗粒平均尺寸也减小。

雾化金属粉末的振动电极法（罗马尼亚克虏伯综合工艺研究所 G.Matel, E.Bicsak 和联邦德国马克斯-普朗克冶金研究所 W.Huppman, N.Claussen）

利用振动自耗电极生产高纯度金属粉末，此自耗电极在挟持辊之间朝着缓慢旋转的铜盘连续地移动。雾化发生在水冷盘和振动电极末端电弧之间。重要的变量是共振棒棒的长度频率电流密度和加速度。本文在这方面作了详细的叙述。

蓝色氧化钨还原成金属钨（美国伊利诺斯大学 T.R.Wilken, J.B.Woodhouse, C.A.Wert 和威斯汀豪斯电气公司 W.R.Morcom）

研究的主要目的是测定温度添加的掺杂物，以及还原气体

的氧含量对 (a) 还原速度, (b) 还原过程中所含的中间产物, (c) 最终所得到的钨粉组织的影响。钾, 硅和铝掺杂物的混合物在还原以前温度500~900℃范围不同周期内加到 $\text{WO}_{2.96}$ 粉中。并确定出: (a) 温度、添加的掺杂物和还原气氛中的氧含量对还原速度影响是大的; (b) 还原过程有三种反应途径, 每种反应在不同温度范围内占主要优势并包括不同中间产品; (c) 根据所采用的试验条件发展了五种形态。观察到掺杂物的添加对形态的进化是很有影响的。

钨粉形态学 (英国曼彻斯特大学A.K.Basu和F.R.Sale)

这一研究报导了关于热分解和氢还原仲钨酸铵 (APT) 时温度和水蒸气分压对所产生的氧化物和金属颗粒形态学的影响。当提高还原温度时, 金属产品由多孔体变成象起初的仲钨酸铵一样颗粒形态的再结晶的许多细小的颗粒体。控制还原初始阶段时的水蒸气分压, 这样生成的是 $\text{W}_{18}\text{O}_{49}$, 所有的研究试样全部成颗粒形状。而且提供一种廉价的制造细颗粒产品的方法。

雾 化 装 置

金属粉末工业幸运的是实际上有可采用的工业装置, 使用这些装置就可以按所定样品批量生产出指定的粉末。在英国贝德福 (Bedford) 戴维洛伊研究发展中心 (Davy-Loewy) 多年来进行了它自己的粉末冶金研究, 这些研究包括几种水雾化器的结构。有三种可用来生产用户需要的粉末。用于这些雾化器的冶炼容量是1~5公斤, 20~25公斤和150~250公斤。新装置的制造是用于研究和发展特殊性能的粉末, 并事先予以提供实验和新工艺研究的条件。一些典型合金和粉末性能如下。

典型合金和粉末性能

合 金 粉 末	平 均 粒 度 (微米)	松 装 密 度 (克/毫升)	氧 含 量 ppm
铝	180	n.d.	1240
银	40~120	5.36	325
补齿合金 (Ag/Sn/Cu)	47	4.58	210
黄 铜	35~520	2.9~4.5	n.d.
青 铜	58	4.32	1020
铜	40~150	1.86~4.6	400
Ni/Cr/B/Si火焰喷涂合金	57~96	4.10~4.54	300
不 锈 钢			
18/8	56~170	2.8~3.3	1500
18/10/2½	73	2.54	1250
工 具 钢			
M2	48~147	2.7~3.3	1500
T1	106	2.97	1000

1. 总 论

在文献^[1,2]中充分阐述过的粉末冶金工艺比其它制造工艺具有许多技术上的优点，但这种工艺还具有另外的重大优点，这些优点一旦被人们真正理解以后，将使粉末冶金成为一种极其吸引人的工艺。这些优点是：

1. 粉末冶金是现有的钢铁工业的有用助手，但它并不是注定限于这种附属的角色。它可以在没有钢铁工业的情况下用以制造从简单到最复杂的各种部件和合金，而只需钢铁工业投资的很少一部分。

2. 包括粉末制取在内的粉末冶金工艺既可以以很小的企业规模，又可以以大而独立的生产规模经营。粉末冶金行业由许多纵的单位（例如，大的粉末冶金工厂）和许多横的单位（同业协会等）所组成。

3. 由于粉末冶金工艺步骤的特点，对于相同水平和复杂性的产品，所需操作人员的教育和技能水平比之其它的制造工艺（例如机械车间）要低些。

总之，粉末冶金是把已开发并正在蓬勃发展的技术应用于社会的一个十分有影响的例子。

有关用金属粉末制造重要的和有用的产品的文献是大量的^[2]。但是，已发表的论述金属粉末制取的有关著作却很少。这意味着粉末制取还是一种技术，而不是一门科学。虽然情况可能是这样，但不管整个市场的盛衰变化，过去的许多粉末制造厂家今天仍然在营业。这一事实说明，这些厂家已做到这样一点：即制得的粉末性能稳定，这正是每个粉末用户所要求的。这是粉末生产的基本长处。

当金属液流垂直降落并通过与横向的液流或气流交叉接触时便产生雾化。一般说，冲击液体金属的流体的能量仅有少量用于

粉碎液体金属，而许多能量是浪费了。通常气体雾化产生圆滑的或球形颗粒，而水雾化时产生不规则颗粒。

在十九世纪廿年代和三十年代已用空气雾化制取有色金属粉末^[3]。使用的喷嘴类型示于图1。

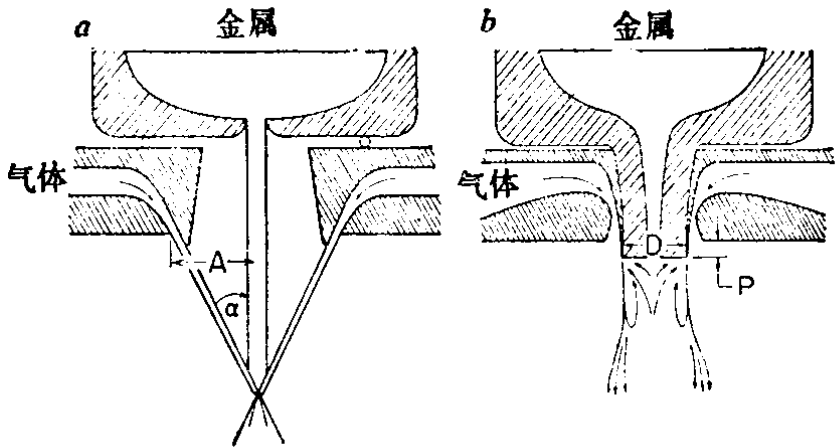


图 1 双流雾化装置

关键装置的特征：

- (a) 自由降落 1—角度 α ；2—距离 A ；3—环状缝分立的喷嘴；
4—切向进气
- (b) 限制的 1—角度 α ；2—突出部位 P ；3—金属漏眼直径 D ；
4—切向进气

这种喷嘴不能生产较高熔点的黑色金属，因而通用汽车公司1938~1939年开始用粉末冶金工艺制造油泵齿轮时使用的是还原铁粉^[4]。二次世界大战时，德国由于缺少铜而被迫寻找炮弹导向箍的代用材料。使用雾化铁粉的粉末冶金技术按两种主要途径发展：DPG法（图2）和曼内斯曼法（图3）^[5]。后者现在仍用于生产铁粉，借助于锥形空气流粉碎熔融的铁水^[6]。

使用空气雾化容易引起合金氧化，形成稳定的氧化物。采用惰性气体雾化可减少氧化（如果这种方法在经济上是允许的话），如果适当的话，也可采用水雾化。然而，甚至早在1958年就已知道，对于合金钢，水雾化时的氧化是不能容许的。因而，为了使氧化减少到不再危害随后烧结过程的程度，用氮气或者氩气是合

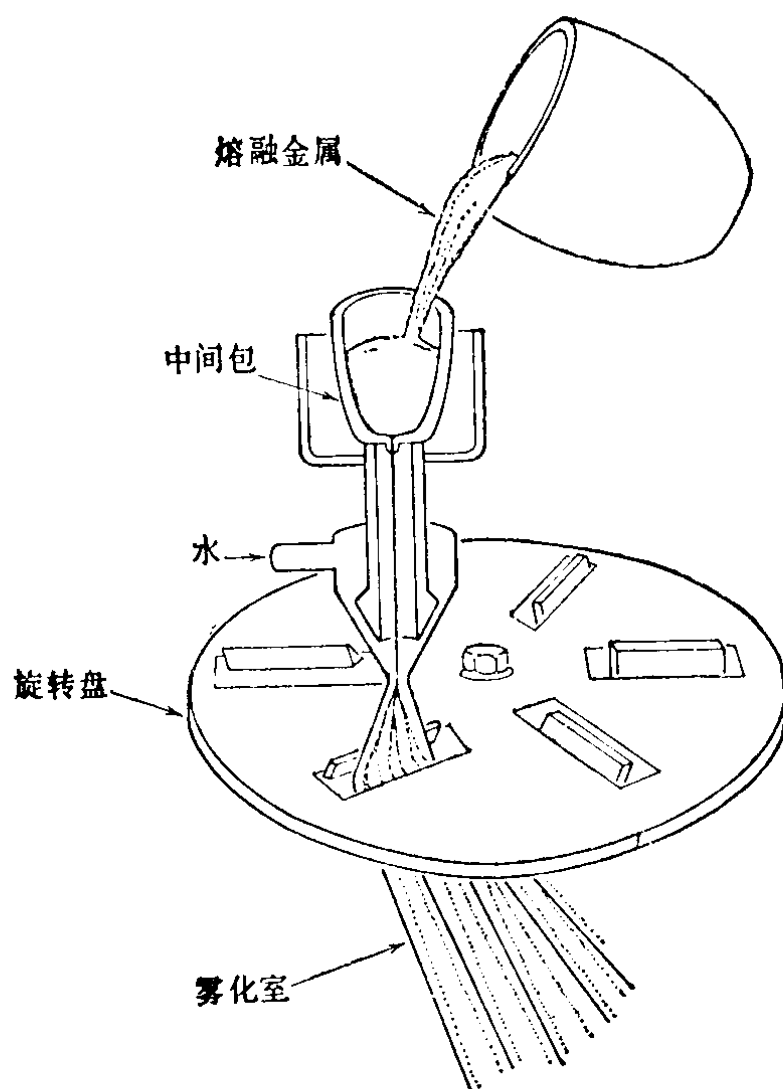


图 2 DPG法〔5〕

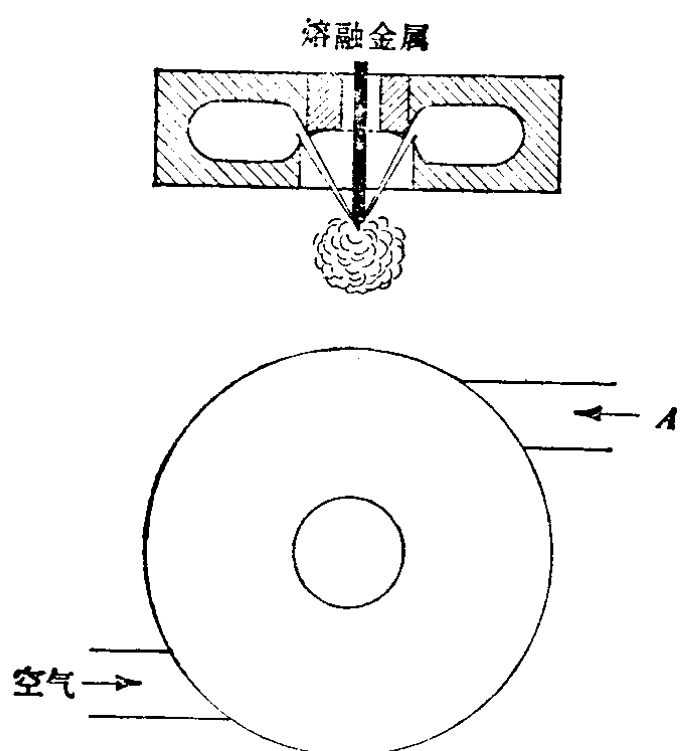


图 3 曼内斯曼法〔5〕

适的，这样的措施在一些现代化的粉末冶金雾化工厂中仍然一直采用^[8]。

传统的粉末冶金方法由粉末制取、用适当混合的粉末填充模子、冷压、烧结、随后的各种精整工序等所组成。对于铁粉零件，其原始铁粉可以用气体雾化法^[5, 6]或水雾化法制取^[9]。几年前，可以说粉末冶金所用的大多数铁粉是用还原法制得的^[10]，但是，因由于下述原因，情况有所改变。

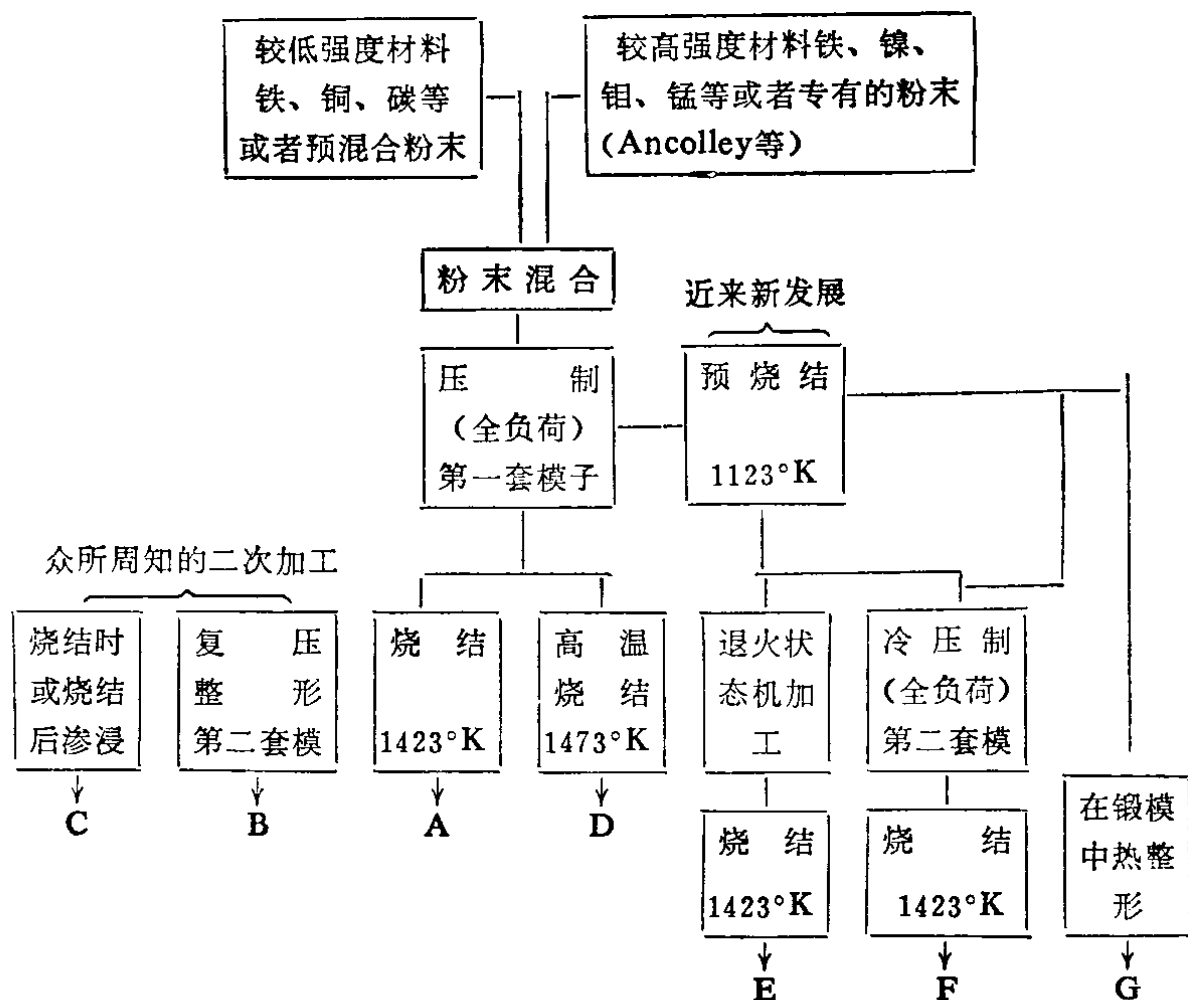
传统的粉末冶金生产流程示于图4，特别应该注意流程A、B、C和D。最近发展的是E、F和G流程。传统上，电解铁粉专门用于高密度元件。但是，现在所能得到的雾化型铁粉（比电解型铁粉便宜）可以通过一次压制而获得高密度（7.2~7.3克/厘米³）^[11]。

另外，近来的发展包括奥斯波累依方法^[12]、使用惰性气体净化的小型水雾化装置^[13]和美国钢公司的松装法^[14]。奥斯波累依法不是将铁粉作为原料，因为雾化是包括在该系统中的。松装法可以生产所需机械性能的零件，并且可用较便宜的粉末（粉末不需要退火和随后压制）。还有，不需要压机，而代之以用有机粘结剂混合的低成本的粉末，混合料装入固定在振动器上的模子里热固化，然后烧结和锻造。

正如所讨论的某些项目所说明的，粉末冶金确实是一种很灵活的工艺。在发展的初始阶段，为了获得粉末生产的某种能力，致力于水雾化还是气体雾化的选择是不明智的。例如，如果需要圆形的颗粒形状，气体雾化是一种方便的流程（例如，见参考文献^[15]中青铜粉的一些试样）。如果选择了曼内斯曼方法，或者需要高合金粉末，那么气体雾化法也是合适的。然而，水雾化法也许是最通用的粉末制造方法^[9]。结论是应发展气体雾化和水雾化两者的能力。

雾化工序本身并不能生产直接适合于粉末冶金用（即通常的）的金属粉末。为了生产粉末原料必须采用各种辅助的然而是很重要的工艺。例如，以曼内斯曼方法来说：

熔融金属雾化到装有水的筒里。由雾化器到水面的距离在某



流程A

(I) 要求余量的，用于铁、铁—铜合金的流程。(II) 用于最小尺寸变化的不需要整形的镍合金的流程。

流程B

对于许多铁—铜材料，当需要精确的公差时，用来校正烧结时的尺寸流程B是最好的有时随后进行二次加热操作，西德特别注意这一点。

流程C

该流程是美国通常采用的，可获得较高密度和较好的强度及耐用性。尺寸控制最精密。

流程D

对于某些高强度镍钢采用高温流程以保证合金元素在铁基中最充分的扩散。

流程E

有利于简化加工硬化材料的机加工(Ni-Mn和Ni-Mo合金)。

流程F

用以获得具有良好冲击韧性的高密度部件的新技术。通常用于镍钢密度接近95%。

流程G

可得到高精度，100%密度制品的粉末锻造流程。

图4 粉末冶金工艺流程

种程度上决定所产生粉末每个铁粉颗粒的氧化程度。在筒里的粉末碳含量高，氧含量也高，其比例取决于初始熔融金属的碳含量和诸如空气的速度等工艺参数^[16]。可自动化地从筒里取出粉末，或者用人工方法周期地出粉（注意高碳淬火的粉末很硬，而且要磨损斗式提升机和类似的设备）。

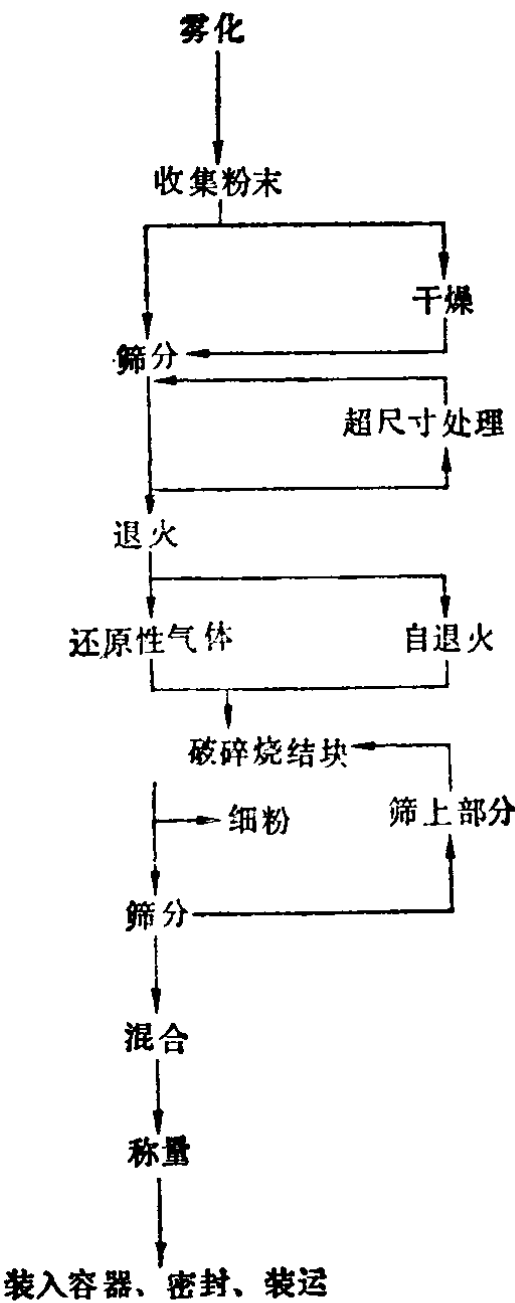


图 5 铁粉生产的一般流程图

生产的粉末通过干燥机（一个中间带有火焰的简单旋转鼓就满足需要了），干燥了的产品装到一个合适的漏斗里。筛上的粉末输入球磨机，而筛下的粉末返回到漏斗^[17]。如果漏斗的角度小于