

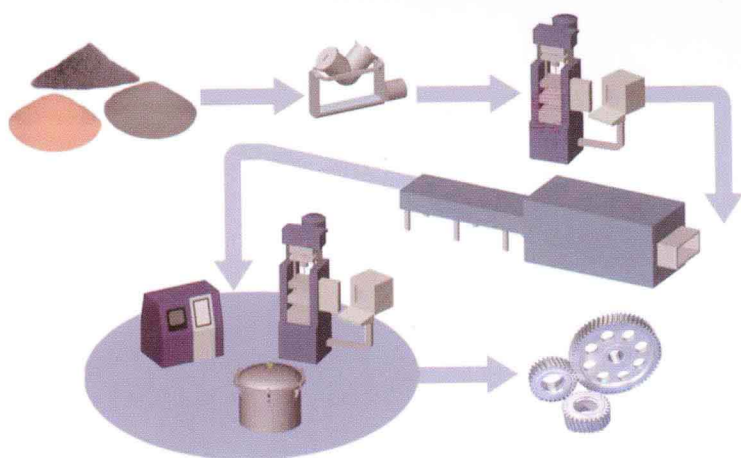


普通高等教育“十二五”规划教材

PUTONG GAODENG JIAOYU "12·5" GUIHUA JIAOCAI

粉末冶金原理与工艺

曲选辉 主编



冶金工业出版社
Metallurgical Industry Press



普通高等教育“十二五”规划

粉末冶金原理与工艺

曲选辉 主编

冶金工业出版社

2013

内 容 提 要

本书较为全面地阐述了粉末的性能、制取方法、成形和烧结等粉末冶金关键工艺过程中的基础知识,简要介绍了粉末冶金的典型材料及粉末冶金零件设计基础,既有对成熟基础理论和实践经验的描述,也有对相关方面最新研究进展的介绍。

本书可以作为大专院校材料、机械和冶金等学科开设粉末冶金课程的教材,也可作为相关专业研究人员和工程技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

粉末冶金原理与工艺/曲选辉主编. —北京:冶金工业出版社, 2013. 5

普通高等教育“十二五”规划教材

ISBN 978-7-5024-6246-8

I. ①粉… II. ①曲… III. ①粉末冶金—高等学校—教材
IV. ①TF12

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 102005 号

出 版 人 谭学余

地 址 北京北河沿大街嵩祝院北巷 39 号, 邮编 100009

电 话 (010)64027926 电子信箱 yjchs@cnmip.com.cn

责任编辑 李培禄 美术编辑 李 新 版式设计 孙跃红

责任校对 石 静 责任印制 李玉山

ISBN 978-7-5024-6246-8

冶金工业出版社出版发行; 各地新华书店经销; 三河市双峰印刷装订有限公司印刷

2013 年 5 月第 1 版, 2013 年 5 月第 1 次印刷

787mm×1092mm 1/16; 20 印张; 487 千字; 310 页

42.00 元

冶金工业出版社投稿电话:(010)64027932 投稿邮箱: tougao@cnmip.com.cn

冶金工业出版社发行部 电话:(010)64044283 传真:(010)64027893

冶金书店 地址: 北京东四西大街 46 号(100010) 电话:(010)65289081 (兼传真)

(本书如有印装质量问题, 本社发行部负责退换)

前 言

粉末冶金是一门既古老又现代的材料制备技术。古代炼块铁技术和陶瓷制备技术是粉末冶金的雏形；18~19世纪欧洲采用粉末冶金法制铂，是古老粉末冶金技术的复兴和近代粉末冶金技术的开端。20世纪前期，粉末冶金进入蓬勃发展时期，各种新材料和新技术层出不穷，粉末冶金逐渐发展成为通过制取粉末，并经过成形和烧结制备材料和制品，其工艺灵活，既能生产具有特殊性能的新材料，也能制造价廉质优的机械零件，是一项兼具新材料研发和机械零件制造的重要技术。20世纪后期，粉末冶金的发展日新月异，其应用领域不断扩展。进入21世纪，粉末冶金已成为新材料科学和技术中最具有发展活力的领域之一。

粉末冶金技术具有显著节能、省材、性能优异、稳定性好等一系列优点，适合于大批量生产。此外，部分用传统铸造方法和机械加工方法无法制备的材料和难以加工的零件也可用粉末冶金技术来制备，故而备受工业界的重视。

粉末冶金是提高材料性能和发展新材料的重要手段，已经成为当代材料科学发展的前沿领域。粉末冶金新材料、新技术、新工艺的不断出现，必将促进高技术产业和国防工业的快速发展，也必将带给材料工程和制造技术光明的前景。近年来，我国粉末冶金行业得到了快速发展，技术水平和工艺装备均比以前有了很大的提高，但与国外先进技术水平相比仍存在差距。因此，大力开展粉末冶金新材料、新技术、新工艺的研究，对提高我国粉末冶金产品的档次和技术水平，缩短与国外先进水平的差距具有非常重要的意义。

为了便于读者学习粉末冶金知识，本书从基础、应用和发展等方面介绍了粉末冶金原理和工艺。其中较为全面地阐述了粉末的性能、粉末的制取方法、成形和烧结等粉末冶金关键工艺过程的基础知识，归纳了粉末冶金的典型材料

及应用, 阐明了粉末冶金零件设计基础, 简单介绍了粉末冶金企业管理和质量管理。

本书由曲选辉任主编 (并编写绪论、第3章第6节), 参加编写工作的有: 邵慧萍 (第1章)、罗骥 (第2章)、林涛 (第3章第1~5节)、秦明礼 (第4章第1~4节)、李平 (第4章第5~7节)、贾成厂 (第5章)、杨霞 (第6章)、何新波 (第7章)。

由于作者水平有限, 书中难免存在疏漏, 不妥之处敬请读者批评指正。

作 者
2013年2月

目 录

绪 论	1
思考题	3
1 粉末的性能	4
1.1 粉末的概念及粉末性能	4
1.1.1 粉末体与粉末颗粒	4
1.1.2 颗粒结晶结构和表面状态	5
1.1.3 粉末性能	6
1.2 粉末的取样和分样	6
1.2.1 取样数目	7
1.2.2 取样和分样	7
1.3 化学成分	8
1.3.1 氢损试验	8
1.3.2 酸不溶物试验	9
1.3.3 铁合金粉的污染	9
1.4 颗粒形状	10
1.4.1 显微观察	11
1.4.2 粉末的 SEM 照片	11
1.5 粉末的粒度	12
1.5.1 粒度与粒度分布	12
1.5.2 粒度测试方法	14
1.6 粉末的比表面	18
1.6.1 比表面的计算	18
1.6.2 气体吸附法 (BET 法)	20
1.6.3 气体透过法	22
1.7 金属粉末工艺性能	23
1.7.1 松装密度与流动性	23
1.7.2 振实密度	25
1.7.3 压制性	26
1.8 自燃性、爆炸性及毒性	29
1.8.1 自燃性和爆炸性	29
1.8.2 毒性	30

思考题	31
参考文献	31
2 粉末的制取	32
2.1 粉末制取方法概述	32
2.2 机械粉碎法	34
2.2.1 普通球磨	34
2.2.2 机械粉碎能耗与粉碎极限	36
2.2.3 高能球磨	38
2.2.4 气流粉碎	40
2.2.5 液流粉碎	42
2.3 雾化法	42
2.3.1 气雾化与水雾化	43
2.3.2 离心雾化	50
2.3.3 其他雾化方法	52
2.4 还原法	52
2.4.1 还原法的热力学原理	53
2.4.2 还原法的动力学原理	55
2.4.3 碳还原	56
2.4.4 氢气还原	63
2.4.5 金属热还原	66
2.4.6 难熔金属化合物粉末的制取	67
2.5 气相沉积法	71
2.5.1 羰基法	71
2.5.2 气相还原法	73
2.5.3 化学气相沉积	74
2.6 液相沉淀法	75
2.6.1 金属置换法	76
2.6.2 溶液氢还原法	78
2.7 电解法	80
2.7.1 水溶液电解法	80
2.7.2 电解法制取铜粉	86
2.8 纳米金属粉末的制取	86
2.8.1 纳米金属粉末的制备方法	87
2.8.2 纳米金属粉末的表面改性	90
2.8.3 纳米金属粉末的应用	91
2.8.4 纳米金属粉末研究展望	92
思考题	92
参考文献	93

3 成形	94
3.1 成形前的粉末预处理.....	94
3.1.1 退火.....	94
3.1.2 混合.....	95
3.1.3 制粒.....	95
3.1.4 加润滑剂.....	95
3.2 压制成形基本规律.....	96
3.2.1 压制成形过程.....	96
3.2.2 压制过程受力分析.....	99
3.2.3 压制压力与压坯密度的关系.....	104
3.2.4 压坯密度及其分布.....	107
3.2.5 复杂形状压坯的压制.....	110
3.2.6 成形剂.....	111
3.2.7 压制工艺参数.....	114
3.3 压制模具和自动压制.....	114
3.3.1 一个台面零件的压制.....	115
3.3.2 使用拉下系统的压制.....	116
3.3.3 多模冲动作压制.....	117
3.4 压机.....	118
3.4.1 机械压机.....	118
3.4.2 液压机.....	119
3.4.3 旋转压机.....	119
3.5 压制成形缺陷分析.....	120
3.5.1 压坯缺陷.....	120
3.5.2 影响压制过程的因素.....	125
3.6 其他成形方法.....	126
3.6.1 冷等静压.....	126
3.6.2 温压.....	128
3.6.3 注射成形.....	134
3.6.4 挤压成形.....	136
3.6.5 金属粉末轧制.....	138
3.6.6 粉浆浇注.....	145
3.6.7 高速压制.....	149
思考题.....	150
参考文献.....	150
4 烧结	152
4.1 概述.....	152

4.1.1	烧结的概念及其在粉末冶金生产过程中的重要性	152
4.1.2	烧结过程的基本类型	152
4.1.3	烧结理论的发展	153
4.2	烧结过程的基本规律	154
4.2.1	烧结驱动力	154
4.2.2	物质迁移机理	159
4.3	固相烧结	172
4.3.1	单元系固相烧结	172
4.3.2	多元系固相烧结	177
4.4	液相烧结	183
4.4.1	液相烧结条件	183
4.4.2	液相烧结过程	187
4.4.3	熔浸	188
4.5	活化烧结	190
4.5.1	预氧化烧结	190
4.5.2	添加少量合金元素	191
4.5.3	在气氛或填料中添加活化剂	193
4.6	烧结气氛与烧结炉	194
4.6.1	烧结气氛	194
4.6.2	烧结炉	200
4.7	其他热固结方法	206
4.7.1	热压	206
4.7.2	热等静压	209
4.7.3	热挤压	212
4.7.4	粉末锻造	214
4.7.5	放电等离子烧结	217
	思考题	220
	参考文献	221
5	粉末冶金材料	223
5.1	烧结结构零件	223
5.1.1	烧结铁基结构零件	223
5.1.2	烧结铜基结构零件	226
5.1.3	烧结铝基结构零件	226
5.1.4	粉末冶金减摩材料	227
5.1.5	粉末冶金摩擦材料	229
5.2	粉末冶金不锈钢与工具钢	230
5.2.1	粉末冶金不锈钢	230
5.2.2	粉末冶金高速工具钢	232

5.3 粉末冶金钛合金与粉末高温合金	233
5.3.1 粉末冶金钛合金	233
5.3.2 粉末高温合金	235
5.4 粉末冶金多孔材料	236
5.4.1 概述	236
5.4.2 制备方法	237
5.4.3 粉末冶金多孔材料的主要体系	238
5.5 硬质合金	238
5.5.1 概述	238
5.5.2 硬质合金的制造工艺	240
5.5.3 硬质合金的性能	242
5.5.4 硬质合金的应用	244
5.5.5 硬质合金的新发展	244
5.6 金刚石工具材料	245
5.6.1 概述	245
5.6.2 金刚石表面的金属化	246
5.6.3 粉末冶金法制造金刚石工具的工艺	247
5.6.4 金刚石工具简介	248
5.7 粉末冶金磁性材料	250
5.7.1 粉末冶金永磁材料	250
5.7.2 粉末冶金软磁材料	253
5.7.3 铁氧体	254
5.8 粉末冶金电触头材料	255
5.8.1 电触头材料的基本性能与分类	255
5.8.2 银基电触头材料	256
思考题	258
参考文献	258
6 粉末冶金零件设计	259
6.1 零件设计的基本条件	262
6.1.1 粉末冶金工艺设计的一般考虑	262
6.1.2 粉末冶金生产工艺的比较与选择准则	266
6.2 零件形状与尺寸精度设计	269
6.2.1 形状设计	269
6.2.2 对一些特殊形状设计的说明	276
6.2.3 利用组合成形法简化压坯的复杂形状	278
6.2.4 压坯尺寸限制	280
6.2.5 粉末冶金零件的尺寸公差	280
6.3 粉末冶金零件设计流程	282

6.3.1	粉末冶金零件设计要点	282
6.3.2	粉末冶金零件设计准则	283
6.3.3	粉末冶金零件设计流程	287
6.3.4	粉末冶金零件设计注意事项	290
6.4	粉末冶金零件设计实例	290
6.4.1	汽车离合器用被动棘轮设计	290
6.4.2	电动工具用夹持器设计	291
	思考题	292
	参考文献	292
7	企业管理与质量管理	293
7.1	企业管理	293
7.1.1	企业管理内容	293
7.1.2	企业生产管理	294
7.1.3	成本核算及控制	299
7.1.4	营销特点	302
7.2	质量管理	304
7.2.1	质量	304
7.2.2	质量的形成及全面质量管理	307
7.2.3	质量成本	308
7.2.4	质量管理体系	309
	思考题	310
	参考文献	310

绪 论

[本章重点]

本章涉及粉末冶金的定义和基本工艺，讲述了粉末冶金的发展历史和发展趋势，粉末冶金的优势及其应用领域。本章需要掌握粉末冶金的定义和基本工艺，以及粉末冶金的优势。

粉末冶金是制取金属粉末或用金属粉末（或金属粉末与非金属粉末的混合物）作为原料，经过成形和烧结制成制品的工艺技术。由于粉末冶金的生产工艺与陶瓷的生产工艺在形式上类似，因此粉末冶金这种生产工艺也称为金属陶瓷法。

粉末冶金的基本工艺是：（1）原料粉末的制取和准备；（2）将粉末成形为所需形状的生坯；（3）将生坯在一定温度下烧结，使最终材料或制品具有所需的性能。粉末冶金的发展日趋多样化，粉末冶金材料和制品的工艺流程如图 0-1 所示。

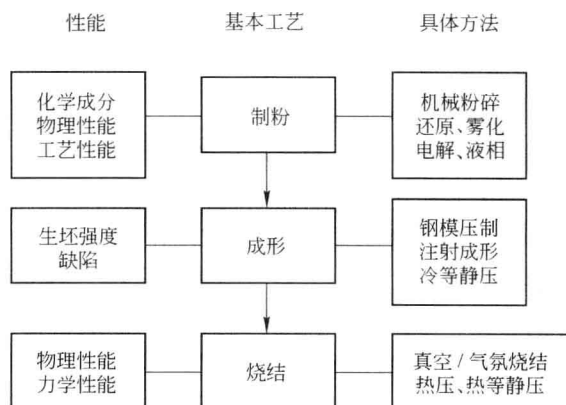


图 0-1 粉末冶金基本工艺

粉末冶金的历史可以追溯到公元前 3000 年，埃及人用碳还原氧化铁得到海绵铁，再经加热锤打制成致密的铁器。公元 3 世纪时，印度人用此方法制造了“德里铁柱”，重达 6.5t。19 世纪初，俄国和英国相继出现海绵铂粉，经冷压、烧结和进一步锻打制成铂制品。1909 年库利奇的电灯钨丝问世后，粉末冶金技术开始迅速发展。

现代粉末冶金技术的发展经历了三个重要阶段：

第一个重要阶段是成功制造出难熔金属和硬质合金。库利奇用粉末冶金工艺制造出电灯钨丝，使 1880 年爱迪生发明的电灯真正得到普及，为现代粉末冶金工业发展迈出了第一步。随后，粉末冶金工艺成为许多难熔金属材料如钨、钼、钽、铌的唯一生产方法。

1923年采用粉末冶金工艺又成功地制造了硬质合金，为机械加工业带来了一场革命。因此，难熔金属和硬质合金的生产，奠定了粉末冶金在材料领域中的地位。

第二个重要阶段是成功制造出多孔含油轴承。20世纪30年代用粉末冶金方法生产出多孔含油轴承，这种轴承在汽车、纺织、航空等领域得到广泛应用。随后发展到生产铁基机械零件，充分发挥了粉末冶金无切削或少切削的特点，实现了高效益。

第三个重要阶段是粉末冶金新材料、新工艺的发展。例如，金属陶瓷、弥散强化材料、粉末高速钢和粉末高温合金等新材料的出现，以及热等静压、粉末热锻、温压等新工艺的出现，展示出粉末冶金发展的广阔前景。

粉末冶金在技术上和经济上具有一系列优点：(1) 生产普通熔炼法无法生产的具有特殊性能的材料，如难熔金属、硬质合金、多孔材料、假合金等；(2) 粉末冶金方法生产的某些材料比普通熔炼法生产的材料性能优越，如粉末高速钢和粉末高温合金等；(3) 材料利用率高、生产效率高，粉末冶金制造机械零件是一种无切削或少切削的工艺，可以大量减少机加工量，节约金属材料，提高劳动生产率。总之，粉末冶金的工艺灵活，既能生产具有特殊性能的新材料，也能制造价廉质优的机械零件。

但粉末冶金工艺也有不足之处。例如，粉末成本高，粉末冶金制品的大小和形状有一定的限制，烧结零件的韧性较差，生产量少时由于模具成本高而导致总的生产成本高等。

粉末冶金材料种类繁多。按材料成分划分，有铁基制品、有色金属制品、稀有金属制品等。从材料性能看，既有多孔材料，又有致密材料；既有硬质材料，又有较软的材料；既有重合金，也有轻的泡沫材料；既有磁性材料，也有电工等其他功能材料。就材料类型而言，有金属材料和复合材料。粉末冶金由于技术和经济上的优越性，其应用将越来越广泛。目前的主要应用范围如下：

(1) 机械零件和结构材料，其中包括：

- 1) 减摩材料：多孔含油轴承、固体润滑材料等；
- 2) 摩擦材料：以铁铜为基，用作制动器或离合器元件；
- 3) 机械零件：代替熔铸和机械加工的各种承力零件。

(2) 多孔材料，其中包括：

- 1) 过滤器：由青铜、镍、不锈钢、钛及合金等粉末制成；
- 2) 热交换材料：也称发散或发汗材料；
- 3) 泡沫金属：用于吸音、减振、密封和隔音。

(3) 电工材料，其中包括：

- 1) 电触头材料：难熔金属与铜、银、石墨等制成的假合金；
- 2) 电热材料：金属和难熔金属化合物电热材料等；
- 3) 集电材料：烧结的金属石墨电刷等。

(4) 工具材料，其中包括：

- 1) 硬质合金：以难熔金属碳化物为基加钴、镍等金属烧结制成；
- 2) 超硬材料：立方氮化硼和金刚石工具材料等；
- 3) 陶瓷工具材料：以氧化锆、氧化铝和黏结相构成的工具材料等；
- 4) 粉末高速钢：以预合金化高速钢粉末为原料制成。

(5) 粉末磁性材料，其中包括：

- 1) 烧结软磁体：纯铁、铁合金、坡莫合金等；
- 2) 烧结硬磁体：烧结磁钢、稀土烧结磁体等；
- 3) 铁氧体材料：包括铁氧体硬磁、软磁、矩磁及旋磁等材料；
- 4) 高温磁性材料：有沉淀硬化型、弥散纤维强化型。
- (6) 耐热材料，其中包括：
 - 1) 难熔金属及其合金：钨、钼、钽、铌、锆及其合金；
 - 2) 粉末高温合金（超合金）：以镍铁钴为基添加 W、Mo、Ti、Cr、V；
 - 3) 弥散强化材料：以氧化物、碳化物、硼化物、氮化物弥散强化；
 - 4) 难熔化合物基金属陶瓷：以氧化物、碳化物、硼化物、硅化物为基；
 - 5) 纤维强化材料：金属或化合物纤维增强复合材料等。
- (7) 原子能工程材料，其中包括：
 - 1) 核燃料元件：铀、钍、钷的复合材料；
 - 2) 其他原子能工程材料：反应堆、反射、控制、屏蔽材料等。

我国粉末冶金工业经过近 60 年的高速发展，无论是基础理论的研究还是新材料、新工艺的开发，都取得了令人可喜的成绩，为我国工业现代化的发展做出了积极的贡献。随着我国经济的高速发展，相信粉末冶金工业将会在工农业和国防等领域发挥更加重要的作用。

思考题

- 0-1 什么是粉末冶金？其基本工艺是什么？
- 0-2 粉末冶金的应用领域有哪些？
- 0-3 粉末冶金的优势是什么？

1 粉末的性能

[本章重点]

本章介绍了粉末的构成，给出了粉末测试前的取样方法，重点阐述了粉末的物理性能及测试方法，包括粉末的形状、成分、粒度、比表面，以及粉末的工艺性能，包括松装密度、流动性、振实密度和压制性。本章需要重点掌握粉末各项性能的含义及其常规测试方法。

1.1 粉末的概念及粉末性能

粉末是制备粉末冶金材料和制品的原料，粉末的纯度和性能对制品的成形、烧结和产品的性能都有直接的影响。

自然界的物质按物态可以分为固态、液态和气态，而固态物质按分散程度不同分为致密体、粉末体和胶体三类，即大小在 1mm 以上的称为致密体或常说的固体，大小在 0.1 μm 以下的称为胶体，而介于两者之间的称为粉末体。

1.1.1 粉末体与粉末颗粒

粉末体简称粉末，是由大量颗粒及颗粒之间的空隙所构成的集合体。致密体内没有宏观的空隙，靠原子间的键力联结；粉末体内颗粒之间有许多小空隙而且联结面很少，面上的原子间不能形成强的键力。因此粉末体不像致密体那样具有固定形状，而表现出与液体相似的流动性。但由于相对移动时有摩擦，故粉末的流动性是有限的。至于气溶胶体和液溶胶体中的颗粒，彼此间的距离更大，仅存在类似分子布朗运动引起的粒子间的碰撞，因而联结力极微弱。

粉末中能分开并独立存在的最小实体称为单颗粒。单颗粒如果以某种形式聚集就构成所谓的二次颗粒，其中的原始颗粒就成为一次颗粒。图 1-1 描绘了若干一次颗粒聚集成二次颗粒的情况。

一次颗粒之间形成一定的黏结面，在二次颗粒内存在一些微细的空隙。一次颗粒或单颗粒可能是单晶颗粒，而更普遍情况下是多晶颗粒，但晶粒间不存在空隙。

二次颗粒是由单颗粒以某种方式聚集而成的，通常由化合物的单晶体或多晶体经分解、焙烧、还原、置换或化合等物理化学反应并通过相变或晶型转变而形成；也可以由极细的单颗粒通过高温处理（如煅烧、退火）烧结而形成。

通过上述方式得到的二次颗粒又称为聚合物或凝集颗粒。实际上颗粒还可以团粒和絮凝体的形式聚集。所谓团粒是由单颗粒或二次颗粒靠范德华引力黏结而成的，其结合强度

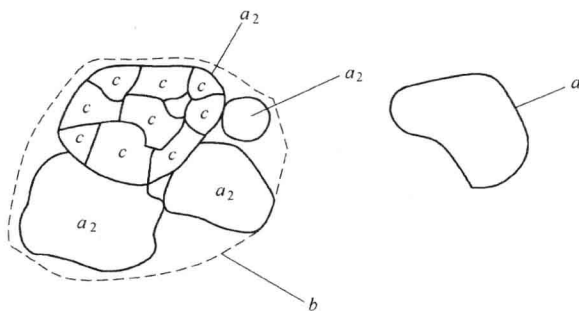


图 1-1 一次颗粒聚集成二次颗粒的情况

a —单颗粒； a_2 —一次颗粒； b —二次颗粒； c —晶粒

不大，用研磨、擦碎等方法或在液体介质中就容易分散成更细的团粒或单颗粒。例如低温干燥得到的氧化物粉末或由金属盐类低温煅烧得到的氧化物粉末均属于这种团粒。絮凝体则是在粉末悬浊液中，由单颗粒或二次颗粒结合成更松散的聚合颗粒。

颗粒的聚集状态和聚集程度不同，粒度的含义和测试方法也就不同。用一般的方法所测定的粒度均是反映单颗粒或二次颗粒大小的，即在分散不良的情况下，只能反映聚集颗粒的粒度。但往往只有二次颗粒中的一次颗粒的大小才对烧结体显微组织内晶粒的结构和大小起决定作用，因而也需要测定一次颗粒的粒度大小。另外，有些粒度测定方法的误差和对不同测定方法结果进行比较或换算时，由于颗粒的聚集状态与聚集程度的不同而给以上工作带来不少的困难。

粉末颗粒的聚集状态和程度对粉末的工艺性能影响很大。从粉末的流动性和松装密度看，聚集颗粒相当于一个大的单颗粒，流动性和松装密度均比细的单颗粒高，压缩性也较好。而在烧结过程中，则一次颗粒的作用比二次颗粒显得更重要。

粉末的颗粒形状对粉末的压制成形和制品的烧结都会带来影响。表面光滑的粉末颗粒，其流动性好，对提高压坯的密度有利。在相同的压力下，用相同成分的粉末进行压制时，球形粉末所获得的压坯密度高，多角形粉末次之，树枝状和针状的粉末较差。

形状比较复杂的粉末，其流动性不如球形粉末好，但对提高制品的压坯强度有利，因为形状复杂的粉末能使压坯中颗粒之间的结合力增加。所以，在相同压力下，用相同成分的粉末进行压制时，树枝状粉末的压坯强度高，不规则粉末次之，片状和球形粉末的较差。

粉末形状不同，对烧结的影响也不同。在烧结时，粉末颗粒形状比较复杂、表面比较粗糙、在压坯中接触比较紧密的粉末，能促进烧结的进行。粉末颗粒形状简单、表面光滑而彼此接触不良的粉末，如球形与片状粉末的烧结性较差。

1.1.2 颗粒结晶结构和表面状态

金属及多数非金属颗粒都是晶体。除少数粉末生产方法，如气相沉积和从液相中结晶能提供使晶体充分生长的条件以外，通常是在晶体生长不充分的情况下得到粉末的。原始颗粒粉末经过破碎、研磨等加工后，晶体外形也会遭到破坏，造成颗粒外形与晶型不一致。

制粉工艺对粉末颗粒的结晶构造起着主要作用。一般说来,粉末颗粒具有多晶结构,而晶粒大小取决于工艺特点和条件,对于极细粉末可能出现单晶颗粒。粉末颗粒实际构造的复杂性还表现为晶体的严重不完整性,即存在许多结晶缺陷,如空隙、畸变、夹杂等。因此,粉末总是贮存有较高的晶格畸变能,具有较高的活性。

粉末颗粒的表面状态是十分复杂的,一般粉末颗粒越细,外表面越发达。同时粉末颗粒的缺陷多,内表面也就相当大。外表面是可以看到的明显表面。内表面包括裂纹、微缝以及颗粒外表面连通的空腔、孔隙等,但不包括封闭在颗粒内的潜孔。多孔性颗粒的内表面常常比外表面大几个数量级。

粉末发达的表面贮藏着高的表面能,因而超细粉末容易自发地聚集成二次颗粒,并且在空气中极易氧化和自燃。

1.1.3 粉末性能

粉末是颗粒与颗粒间的空隙所组成的集合体。因此研究粉末体时应分别研究单颗粒、粉末体和粉末体中空隙等的一切性质。

单颗粒的性能与粉末材料类别及其生产方法有关:(1)由粉末材料决定的性质,如点阵结构、理论密度、熔点、塑性、弹性、电磁性质、化学成分等。(2)由粉末生产方法所决定的性质,如粒度、颗粒形状、密度、表面状态、晶粒结构、点阵缺陷、颗粒内气体含量、表面吸附的气体与氧化物、活性等。

粉末的性能除了单颗粒的性质以外,还有平均粒度、粒度组成、比表面、松装密度、振实密度、流动性、颗粒间的摩擦状态。

粉末的空隙性能有总空隙体积、颗粒间的空隙体积、颗粒内的空隙体积、平均空隙大小、空隙大小的分布及空隙的形状。

在实践中不可能对上述粉末性能逐一进行测定,通常按化学成分、物理性能和工艺性能来进行划分和测定。

化学成分主要是指粉末中金属的含量和杂质含量。金属粉末的化学分析与常规的金属试样分析方法相同。

物理性能包括颗粒形状与结构、粒度和粒度组成、比表面积、颗粒密度、显微硬度,以及光学、电学、磁学和热学等性质。实际上,粉末的熔点、蒸气压、比热容与同成分的致密材料差别很小,一些性质与粉末冶金关系不大。

工艺性能包括松装密度、振实密度、流动性、压缩性和成形性。

1.2 粉末的取样和分样

在粉末冶金生产过程中,粉末的生产是以公斤(kg)或吨(t)为单位的,而粉末性能的测试只可能取出其中的几十克或几毫克作试样,来代表这批粉末的性能,因此要准确地测定粉末的性能,并使所取的样品应尽可能精确地代表这批粉末,取样方法的标准化是十分重要的。