

粉体材料成形设备与模具设计

熊春林 汤中华 李松林 编著



化学工业出版社

· 北 京 ·

本书系统地介绍了粉体模压成形的压模设计、压坯设计、成形设备与压制工具系统等，并根据近二十年来粉末冶金成形领域中涌现的许多新的成形技术和设备，详细描述了压模的计算机辅助设计与制造、压模主要零件的结构设计与加工、粉末注射成形设备与模具、粉末挤压成形设备与模具、粉末热锻模具的设计、精整模具结构设计等新内容。附录中列出了国内外粉末材料原辅料的标准，以便读者查阅。

本书除重点对粉末冶金设备与模具设计进行详尽介绍外，还对成形工艺过程作了简要描述。可作为粉末冶金领域的技术人员学习与培训用书，也可作为高等学校粉体材料科学与工程及相关专业的教学用书。

图书在版编目 (CIP) 数据

粉体材料成形设备与模具设计/熊春林, 汤中华, 李松林编著. —北京: 化学工业出版社, 2006.10
ISBN 978-7-5025-9563-0

I. 粉… II. ①熊…②汤…③李… III. ①粉末技术-材料工程-成形-设备②粉末技术-材料工程-成形-模具-设计 IV. TB44

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 127367 号

粉体材料成形设备与模具设计

熊春林 汤中华 李松林 编著

责任编辑: 丁尚林

责任校对: 王素芹

封面设计: 韩 飞

*

化学工业出版社出版发行

(北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

购书咨询: (010)64518888

购书传真: (010)64519686

售后服务: (010)64518899

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销

北京永鑫印刷有限责任公司印刷

三河市万龙印装有限公司装订

开本 787mm×1092mm 1/16 印张 20 $\frac{3}{4}$ 字数 556 千字

2007 年 1 月第 1 版 2007 年 1 月北京第 1 次印刷

ISBN 978-7-5025-9563-0

定 价: 39.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换
京化广临字 2006—51 号

序

模具是实现粉体材料成形的关键工艺装备。采用模具生产毛坯或成品零件是材料成形的重要方式之一，与切削加工相比，具有材料利用率高、能耗低、产品性能好、生产效率高和成本低等显著特点。

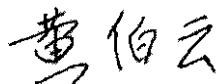
粉体成形模具设计是一门培养粉体材料科学与工程高级专业技术人才的重要专业必修课，也是培养粉体成形模具设计工程师必不可少的环节。

粉体材料与科学工程学科在不断向前发展，粉体成形技术更是发展迅猛。近二十年来，传统的模压成形技术和设备不断更新，而新的成形技术（如注射成形和挤压成形技术等）和设备也在不断地完善和成熟。为适应新形势下粉体材料科学与工程本科专业人才培养的要求和教材建设的迫切需要，中南大学粉末冶金研究院组织具有多年教学和实践经验的骨干人员编写了这本《粉体材料成形设备与模具设计》。

本书系统性强，内容丰富，覆盖面广。书中不仅深入浅出地论述了各种粉体成形模具设计的基本原理和方法，而且提供了大量的模具模架结构实例。全书结构合理，重点突出，文字叙述详细流畅，既适合于课堂教学，也便于学生自学。

相信本书的出版发行将为我国粉体材料科学与工程及相关专业的本科教学和人才培养发挥应有的作用。

中国工程院院士
中南大学校长



2007年1月

前 言

粉体材料是以粉末（体）为原料，通过成形、烧结制得的各类材料，包括金属材料、无机非金属材料、聚合物有机材料和由这些材料组合构成的复合材料。本书所涉及的粉体材料主要还是大家所熟悉的粉末冶金材料。

成形是粉体材料制备的基本工序之一。近二十多年来，传统的模压成形技术和装备得到了迅速发展，许多新的成形技术和设备大量涌现。随着我国改革开放和国际交流的深入，我国粉末冶金行业也得到了迅猛的发展。中南大学粉末冶金研究院为适应这一发展形势对专业人才培养的要求，经教育部批准，在原粉末冶金专业（方向）的基础上，新设了“粉体材料科学与工程”本科专业，本书就是根据该专业培养方案及教学大纲要求编写的。

本书是在原中南矿冶学院姚德超教授主编的高等学校教学用书《粉末冶金模具设计》的基础上，根据作者多年的教学及管理经验和收集积累的国内外有关技术资料，对原书中的一些内容进行了较大的调整、修改和增补，篇幅也有较大的增加。书中吸收了近二十多年来粉末冶金成形领域中涌现的许多新的成形技术和设备方面的资料，增加了粉末注射成形、粉末挤压成形、压模的计算机辅助设计与制造（CAD/CAM）、产品零件分析等新内容，加强了压制工具系统中压制设备的基本结构、工作原理、结构特点和压模结构设计等内容的介绍。

本书可作为高等学校粉体材料科学与工程及相关专业的教学用书，也可作为粉末冶金专业领域的模具设计等工程技术人员自学和职工技术培训用书。该书力求知识的系统性、完整性和适用性，在叙述上尽量做到详细、具体、准确。

本书第一～五章由熊春林编写，第六、七、十、十一章由汤中华编写，第八、九章由李松林编写。全书由熊春林主持制订编写大纲，协调编写工作。

本书编写中参阅了大量参考文献、图表资料，也得到了中南大学粉末冶金研究院、粉末冶金国家重点实验室的大力支持，在此一并表示感谢！

由于我们的水平有限，不足之处在所难免，欢迎同行专家和广大读者批评指正。

编著者
2007年1月

目 录

第 1 章 压模设计的基本要求和方法.....	1
1.1 模压成形过程及其对压模设计的基本要求	1
1.1.1 模压成形过程	1
1.1.2 压模设计的基本要求	2
1.2 压模设计的基本方法和步骤	2
第 2 章 压坯设计.....	4
2.1 产品零件分析	4
2.1.1 零件材质类型、使用性能要求与制造工艺分析	4
2.1.2 零件尺寸、形状分析	9
2.1.3 零件精度分析.....	11
2.2 压坯形状的设计.....	12
2.2.1 从装粉和压坯密度的均匀性来考虑.....	12
2.2.2 从压坯脱模的角度考虑.....	13
2.2.3 从减小模压成形难度、简化压模结构考虑.....	14
2.2.4 从模具零件强度和使用寿命来考虑.....	16
2.3 压坯精度的设计.....	17
2.4 压坯密度与单重的确定	21
第 3 章 压模设计基本原理	23
3.1 压制过程中粉体的密实化过程和力的分析.....	23
3.1.1 压制过程中粉体的密实化过程.....	23
3.1.2 压制过程中力的分析.....	23
3.2 压制方式对压坯密度分布的影响.....	28
3.2.1 压制的几种基本方式.....	28
3.2.2 压制方式对压坯密度分布的影响.....	30
3.2.3 压制方式的选择.....	34
3.3 装粉高度、压缩程度（压缩比）及压制速率对不等高压坯密度均匀性的影响.....	39
3.3.1 装粉高度（装填系数）对不等高压坯密度均匀性的影响.....	39
3.3.2 压缩程度（压缩比）对不等高压坯密度均匀性的影响.....	40
3.3.3 压制速率对不等高压坯密度均匀性的影响.....	41
3.4 不等高压坯组合模冲的设计.....	43
3.4.1 带台阶压坯组合模冲的设计	43
3.4.2 带斜面压坯组合模冲的设计	47
3.4.3 带曲面压坯组合模冲的设计.....	49
第 4 章 粉体材料模压成形设备与压制工具系统	51
4.1 概述.....	51

4.1.1	成形设备与两大压制工具系统.....	51
4.1.2	压制过程对成形设备及压制工具系统的动作要求.....	52
4.1.3	压制工具系统的动作曲线.....	56
4.2	普通粉体材料模压成形设备简介.....	57
4.2.1	机械式粉末压机.....	58
4.2.2	液压式压机.....	62
4.2.3	机械-液（气）压复合式粉末压机	66
4.3	国外部分专用粉末压机简介.....	67
4.3.1	日本玉川机械株式会社生产的粉末压机.....	67
4.3.2	日本良塚精机（株）生产的粉末成形压机.....	72
4.3.3	德国多尔斯特机械与设备公司生产的粉末压机.....	75
4.4	模架的基本结构类型及应用.....	84
4.4.1	模架的构成与功能.....	84
4.4.2	模架的基本结构类型及应用.....	85
4.5	模压成形设备的选择.....	88
4.5.1	压机类型的选择.....	89
4.5.2	压机技术参数的选择.....	90
第5章	压模结构设计	95
5.1	压模结构的分类与典型压模结构分析.....	95
5.1.1	压模结构的分类.....	95
5.1.2	典型压模结构分析.....	96
5.2	压模结构设计的基本原则	128
5.3	压制过程自动化与自动压模结构设计	130
5.3.1	压制过程自动化对压模结构设计的基本要求	130
5.3.2	自动压模结构设计	131
第6章	压模主要零件的结构设计、尺寸计算与加工.....	154
6.1	模具主要零件的结构设计	154
6.1.1	阴模	154
6.1.2	模冲	157
6.1.3	芯杆	158
6.2	压模零件的尺寸计算	158
6.2.1	压模尺寸的基本要求和参数选择	158
6.2.2	压模零件的尺寸计算	164
6.2.3	几种典型产品压模零件的尺寸计算	176
6.3	模具材料的选择及热处理	183
6.3.1	模具制造的一般要求	183
6.3.2	模具材料的选择与模具用钢的热处理	187
6.4	模具零件的加工	187
6.4.1	整体圆形阴模加工	187
6.4.2	异形阴模的加工	187
6.4.3	硬质合金模具的加工	192
6.5	提高模具寿命的途径	192
6.5.1	研究和选用新型模具材料	192

6.5.2	革新热处理工艺	193
6.5.3	模具表面的强化处理	194
第7章	压模的计算机辅助设计与制造	196
7.1	模具 CAD/CAM 简介	196
7.1.1	CAD/CAM 基本概念	196
7.1.2	模具 CAD/CAM 主要内容	197
7.1.3	模具 CAD/CAM 的特点	197
7.2	模具 CAD/CAM 系统的组成	198
7.2.1	CAD/CAM 系统硬件	198
7.2.2	CAD/CAM 系统软件	199
7.2.3	CAD/CAM 系统的配置	200
7.3	粉体模压成形模具 CAD/CAM 系统简介	201
7.3.1	粉体模压成形模具 CAD/CAM 系统的主要任务	201
7.3.2	粉体模压成形模具 CAD/CAM 系统的结构与功能	201
7.4	CAD/CAM 在粉体成形模具设计中的应用示例	204
7.4.1	基于 SolidWorks 的拉下式粉体成形模 CAD 系统的开发	204
7.4.2	基于 SolidWorks 的粉体成形模具优化设计	207
第8章	粉末注射成形机及成形模具	211
8.1	粉末注射成形技术	211
8.1.1	粉末注射成形技术的基本过程	211
8.1.2	粉末注射成形技术与塑料注射成型技术的区别	212
8.2	粉末注射成形机	212
8.2.1	注射成形机的结构	212
8.2.2	注射成形过程分析	213
8.3	粉末注射成形模具设计	214
8.3.1	模具设计的流变学基础	214
8.3.2	模具尺寸的计算	216
8.3.3	注射成形模具设计	216
第9章	粉末挤压成形设备与模具	229
9.1	粉末挤压成形技术	229
9.1.1	粉末挤压成形工艺	229
9.1.2	挤压成形过程分析	229
9.2	挤压成形机	232
9.2.1	单螺杆挤压机	232
9.2.2	排气挤出机	234
9.2.3	双螺杆挤压机	234
9.3	粉末挤压成形喂料黏度的计算和测定	235
9.3.1	喂料流动性测定	235
9.3.2	喂料黏度计算	236
9.4	挤压成形模设计	236
9.4.1	棒材模结构设计	237
9.4.2	管材模设计	239
第10章	粉末热锻模具的设计	245

10.1	粉末热锻的特点及应用.....	245
10.2	粉末热锻过程中的变形特征与致密化.....	246
10.2.1	变形特征.....	246
10.2.2	致密化.....	247
10.3	粉末热锻模的设计要求.....	249
10.4	粉末热锻件与预成形坯的设计.....	250
10.4.1	粉末热锻件的分类与锻件图设计.....	250
10.4.2	预成形坯的设计.....	252
10.5	热锻模结构实例.....	257
10.6	热锻模零件的尺寸计算.....	258
第 11 章	精整模结构设计	260
11.1	精整与整形.....	260
11.1.1	精整.....	260
11.1.2	整形.....	260
11.2	精整模结构设计的基本要求和原则.....	261
11.2.1	设计的基本要求.....	262
11.2.2	设计的基本原则.....	262
11.3	精整模具结构示例.....	263
11.3.1	通过式精整模具.....	263
11.3.2	全精整式精整模具.....	265
11.4	精整模零件的尺寸计算.....	275
11.5	精整模具的自动送料机构.....	276
11.5.1	装料机构（料斗）.....	276
11.5.2	料仓.....	280
11.5.3	供料机构.....	283
附录		288
附录一	部分国外粉体（粉末冶金）材料标准.....	288
附录二	粉体（粉末冶金）材料主要原辅材料标准.....	308
附录三	常用面积、体积的计算公式.....	319
主要参考文献		323

第 1 章 压模设计的基本要求和方 法

1. 1 模压成形过程及其对压模设计的基本要求

1. 1. 1 模压成形过程

粉体材料模压成形是将一定质量（体积）的金属（合金）粉末或金属粉末与无机非金属粉末及一定成型剂的混合物装入刚性模腔，然后通过上、下模冲沿单一轴向方向对粉末施加一定大小的压力，使松散的粉料在封闭的模腔中压缩成具有一定尺寸、形状、密度与强度的压坯，再将压坯从模中脱出的工艺过程。整个过程包括装粉、压制和脱模三个步骤。

图 1-1 所示为简单的单向手动压模的压制过程示意图。装填粉末之前，首先应根据设计计算，确定满足压坯单重、密度要求的粉末质量，然后采用天平称重的方法（简称重量法）或控制装粉高度（容积）的方法（简称容量法）将一定量的粉末均匀装入阴模腔内。压制时，可以通过控制单位压制压力或采用高度限位块控制压缩粉末的距离来保证压坯所需高度尺寸与密度。压制终了（压制到位后），可采用阴模固定不动，由模冲自上而下或由下往上顶出的办法（这种脱模方法称为顶出式脱模），将压坯从模腔中脱出，也可采用下模冲固定不动，而将阴模拉下的办法（这种方法称为引下式脱模），使压坯从模腔中脱出。

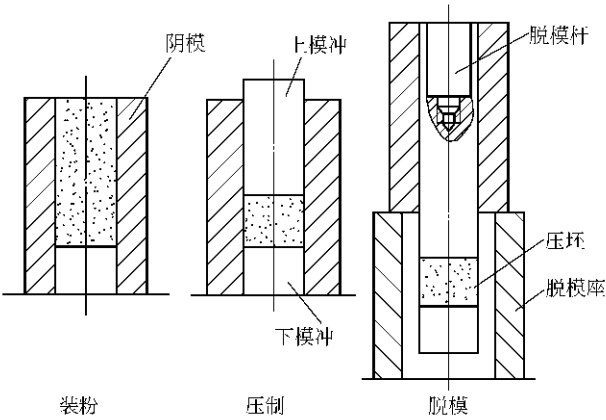


图 1-1 压制过程示意图

由于松装状态下，模腔中的粉末颗粒之间的机械搭架而存在大量的孔隙（“拱桥”现象），当模冲对粉末施加外力作用时，这些粉末颗粒不但要发生宏观位移和转动，使这些“拱桥”现象受到破坏，装粉时形成的“拱桥”纷纷倒塌，其中的大量孔隙也为粉末颗粒所填充，颗粒之间相互靠拢，接触面积增加，整个体积（高度）明显减少，密度明显增加，而且随着压制过程的进行，当密度增加到一定程度时，粉末颗粒发生位移和转动的阻力也随之增大，从而引起粉末颗粒的变形。当粉末颗粒之间的相互作用力超过它们的强度极限时，粉末颗粒自身便会引起塑性变形甚至脆性断裂，从而使得体积进一步减小，密度进一步提高，粉末颗粒之间的接触面积和结合强度也进一步增大，最后达到所要求的压坯密度和强度。因此，模压成形的过程就是粉末体在外力作用下的一种密实化过程。在这个过程中，不但存在外加压制压力与粉末体之间的作用力与反作用力，也存在粉末颗粒与粉末颗粒、粉末与模壁之间的相互作用力，包括正压力和摩擦作用力。这些作用力的综合体现只是在宏观上使粉末

体产生了孔隙体积减小、密度增加的密实化效果，粉末颗粒之间并没有发生冶金上的结合，压坯内部不但还存在一定数量的孔隙，而且还产生了潜在的内应力，甚至是微裂纹，压坯的强度仍较低。

1.1.2 压模设计的基本要求

模压成形的基本目的是要使松散的粉末体压实，使之成为具有一定尺寸、形状、密度和强度的半成品压坯，为下一步的烧结打下基础（磁性材料成形时的充磁另当别论）。一般来讲，在压制过程中，要达到一定的尺寸、形状和平均密度是比较容易的，但要使压坯密度分布均匀却比较困难。形状越复杂，越难使压坯密度分布均匀。压坯密度分布的不均匀性不但最终影响产品的力学性能，而且也是引起压坯开裂、分层、掉边掉角、烧结收缩不均、产品变形、精度超差等压制废品的重要原因。因此，在设计加工用于压制成形的压模时，第一，除了要尽量保证压坯的尺寸、形状和精度，以便在压坯烧结后满足产品尺寸、形状和精度要求，减少后续辅助机械加工，提高材料利用率，降低生产成本，充分发挥这种零件制造技术和方法的优势外，还要尽量保证压坯密度分布的均匀性，减少压制废品，提高半成品的合格率，降低生产成本。这就要求根据产品尺寸形状，合理进行压坯设计，合理配制粉末数量，并使压坯各部分尽可能达到一致的压缩程度（注意不是一致的压缩量），周密考虑压模结构，合理选择合适的压制方式和脱模方式，充分利用摩擦的有利作用，克服摩擦作用的不利影响。

第二，在根据所要生产的零件的尺寸、形状、精度和性能要求、生产批量、生产工艺和有关设备条件、所用的粉末原料有关工艺参数等设计资料进行压坯和压模结构设计时，在满足上述要求的前提下，既要考虑生产的经济性，尽量简化模具结构，合理选择模具材料，合理提出模具加工要求（包括尺寸公差、表面粗糙度、形状与位置精度、热处理要求等），减小模具加工难度，降低模具制造费用，又要容易调节，方便操作，降低劳动强度，改善劳动条件。

第三，要尽可能采用先进的计算机辅助设计与制造技术，尽量采用通用模架和通用模具零件，逐步实现模具零部件的通用化和模具零件生产的批量化，以提高模具设计制造效率，降低模具设计制造成本。

1.2 压模设计的基本方法和步骤

压模设计的基本方法有两种，一种是传统的人工设计方法，另一种是计算机辅助设计方法（CAD）。后者在第7章会专门阐述，这里只介绍传统的人工设计方法与步骤。人工设计方法通常包括以下几个步骤。

（1）设计前首先需要认真收集、了解和掌握有关设计资料，为模具设计提供基本的依据。这些资料包括：

- ① 产品图纸及技术要求（包括产品零件的结构形状、尺寸大小与精度要求、表面粗糙度、产品牌号、材料成分、性能要求及用途等）；
- ② 产品批量大小、单重、产品价格及交货期限；
- ③ 生产工艺方案（注意是否需要精整、复压复烧或锻造、是否需要辅助机械加工等）；
- ④ 有关工艺参数（包括粉末原料的松装密度、流动性、压缩性、成形性、压坯密度、弹性后效、烧结收缩率、精整余量、机加工余量、复压装模间隙、压下率等）；
- ⑤ 压机类型及有关技术参数（包括压机类型是机械压力机还是液压机、压机是否带下缸、液压缸数量、模架结构情况、允许的最大装粉高度、压机的最大压制压力、脱模压力、

压机行程、每分钟压制次数、工作台面尺寸、压机自动化程度、压机控制系统与安全防护装置等)。

⑥ 模具加工设备及能力、人员素质等。

(2) 根据所掌握的上述资料,先要对所要生产的产品零件图纸进行全面的技术与经济可行性分析。这里所谓技术可行性分析,就是看技术上是否可行,主要是看采用模压成形工艺方法能否满足产品尺寸、形状、精度、表面粗糙度、密度及有关硬度、强度等使用性能的要求。换句话说,看是否适宜采用模压成形方法生产。除了技术上的可行性分析之外,经济上合不合理也是需要考虑的。如果以上两者均可以,就可直接进行压坯设计,具体确定压坯的尺寸、形状、密度、单重和精度。如果从工艺上看,产品某些尺寸、形状部位不适宜甚至不可能用模压成形,就应与客户协商,征得客户同意后进行必要的修改,使之适合模压成形方法生产。如果不行,只要经济上合理,技术上可行,也可对产品零件按模压成形要求进行必要的修改,然后采取后续辅助机械加工的办法使之达到用户对产品尺寸形状及精度的要求。

(3) 压坯设计确定后,就要根据压坯的尺寸、形状、精度和密度要求,结合生产批量和压机设备进行压模结构的设计,具体考虑如何实现装粉、压制和脱模这几个基本动作要求。一般根据生产批量和设备条件来考虑压模的自动化程度。对于批量不大(如科研、新产品试制)、设备条件受到限制时,往往考虑采用手动压模。对于批量比较大,设备条件允许或产品尺寸较大,模具太重,不便手动操作时,往往考虑采用自动或半自动压模结构。

不管是手动压模还是自动或半自动压模,都应根据压坯尺寸形状特点(如压坯类型、高径比、高厚比等)和压坯密度均匀性与精度要求来考虑装粉方式、压制方式和脱模方式,并进行装粉高度、压缩量和脱模高度、模具零件安装与连接方案的设计计算,然后绘制压模结构草图。为了便于正确反映压制过程中装粉、压制和脱模这三个阶段之间的相对位置,一般以结构草图主视图的中心线为界,左边表示装粉状态,右边表示压制终了状态,脱模状态另外表示。这样既反映设计方案中压模零件之间的相对位置关系,避免产生设计矛盾,也可作为下步压模零件的设计计算提供依据。

(4) 压模结构确定后,就要对压模零件的结构、尺寸进行设计计算(包括强度校核与计算)。并对模具零件所用材料进行选择,然后绘制压模装备总图、压模零件图,并合理提出零件加工技术要求(包括尺寸公差、形位公差、表面粗糙度、热处理硬度和其他加工要求)。

第2章 压坯设计

所谓压坯设计就是确定所要压制成形的压坯（包括用于熔渗的骨架坯和粉末锻造的预成形坯）的几何尺寸与形状、尺寸精度和形状位置精度、压坯密度与单重。因此，压坯设计的主要内容包括压坯形状与尺寸设计、压坯精度设计和压坯密度与单重设计。

2.1 产品零件分析

由于粉体材料组织与性能的优异性及模压成形烧结制备技术和方法的先进性，使得它在各个领域都得到了广泛的应用，越来越为人们所青睐。这种先进的材料制备技术与方法不但钨、钼、钽、铌等稀有难熔金属及其化合物与粘接金属组成的硬质合金、高比重（密度）合金、具有各种特殊性能及用途的多种功能材料及制品的有效制备手段，甚至是当前唯一的制备方法，而且许多原来由钢铁、铜、铝、钛等金属材料采用铸、锻及切削加工等机械加工方法制造的零部件，也越来越多地改用模压成形、烧结方法制造。

这些零部件大小不一，形状各异，材质千变万化，性能要求、使用场合各不相同。其中有些零件原是由主机厂家根据金属材料机械加工技术要求而设计的，产品尺寸、形状、精度、材质性能要求不一定完全适合粉体材料的特点和制备工艺。作为模具设计工作者，在进行压模设计之前，首先应该结合工厂实际，对所要生产的零件的尺寸形状、材质类型、使用性能要求与相应的制造工艺，从技术和经济上进行认真的可行性分析，为正确设计压坯的尺寸、形状、密度、单重提供依据。

2.1.1 零件材质类型、使用性能要求与制造工艺分析

粉体材料的材质类型很多，按照不同的分类标准可分成不同的材料类型。按照材料体系可分为金属材料、无机非金属材料、有机聚合物材料（有机材料）和由这些材料组合成的复合材料四大类。其中以金属材料和金属与无机非金属组成的复合材料用量最大，使用最广。按照材料组成的基本（体）元素，金属粉体材料又可以分成铁基、铜基、铝基、镍基、钨基、钛基等粉体材料，其中铁、铜基粉体材料用量最大。复合材料又分为金属基复合材料、陶瓷基复合材料和树脂基（聚合物基）复合材料。其中金属基复合材料又可分为氧化物基、碳化物基、硼化物基、氮化物基等类型。按照材料的性能特征与应用基础，粉体材料又可分为粉体结构材料和粉体功能材料两大类。前者主要是以其力学性能（硬度、强度、韧性、耐热性、耐磨性等）为应用基础的材料，后者主要是以光、电、磁、热、声等物理、化学和生物学性能为应用基础的材料。按照材料的用途，粉体材料又可分为用于机械设备、仪器装置的结构零部件、减摩耐磨零部件，用于传动或制动的摩擦材料与制品，用于切削加工的工具材料与制品，用于电气开关、电子仪器、仪表的电工合金（包括电触头材料和磁性材料），用于石油化工、环保方面进行分离、净化、催化的多孔材料，用于原子反应堆的原子能工程材料等。从材料的应用领域来讲，范围之广，领域之宽也是举不胜举。无论是地质、矿山、冶金、机械、石油、化工、交通运输、医疗、环保，还是能源、电子、信息、航天航空，几乎没有一个工业部门不用到粉体材

料及其制品。特别是在机械制造业方面，用量越来越大，作用越来越显著。

经过几十年的发展，这些材料和制品的制备技术越来越成熟，产品性能越来越完善，质量越来越稳定，标准也越来越规范。其中以美国金属粉末工业联合会（Metal Powder Industries Federation，简称 MPIF）的 MPIF 标准 35《粉末冶金结构零件材料标准》和国际标准化组织（International Standardization Organization，简称 ISO）的 ISO 5755《烧结金属材料规范》较为全面、完善。熟悉和了解这些材料制品的牌号和技术标准，不但是市场开发、生产经营管理的需要，也是模具设计人员进行产品材质分析，全面了解所要生产的产品零件的材质类型、技术标准和应用领域，正确把握生产工艺及相关设计参数，合理进行压坯尺寸、形状、精度、单重与密度设计的需要。为此，这里就上述两个标准中有关粉体材料（粉末冶金）的产品代号（牌号）作个简要介绍，它们的具体技术参数（化学成分及性能）见附录一。

2.1.1.1 美国金属粉末工业联合会 MPIF 标准 35《粉末冶金结构零件材料标准》

该标准自 1965 年发布后，经过了 1974 年、1976 年、1984 年、1987 年、1990 年、1994 年、1997 年和 2000 年多次修订，是目前最完善、实用的粉末冶金结构材料标准。它包括了烧结铁和烧结碳钢、烧结铁铜和烧结铜钢、烧结铁镍合金及烧结镍钢、烧结低合金钢、烧结粉末不锈钢、烧结渗铜铁和烧结渗铜钢、烧结黄铜、青铜和锌白铜等。这些材料标准采用前缀字母代号、数字代号及后缀字母代号来表示材料的类型、化学组成和最小强度值。具体表示方法如下。

（1）前缀字母代表材料类型。其中头一个字母为基本（体）元素的代号，后面为主要合金元素（碳除外）代号，接着是次要合金元素代号。其字母代号代表的意义如下：

A——铝（Al）	G——游离石墨（C）
C——铜（Cu）	M——锰（Mn）
CT——青铜（Cu-Sn）	P——铅（Pb）
CNZ——锌白铜（Cu-Ni-Zn）	N——镍（Ni）
CZ——黄铜（Cu-Zn）	S——硅（Si）
F——铁（Fe）	T——锡（Sn）
FC——铁铜或铜钢（Fe-Cu）	U——硫（S）
FN——铁镍或镍钢（Fe-Ni）	Y——磷（P）
FD——扩散合金钢	Z——锌（Zn）
FL——预合金铁基材料（不包括不锈钢）	
FX——铜熔渗铁或钢	
SS——预合金化不锈钢	

（2）前缀字母后面第一组数字（与前缀字母之间用“-”隔开）表示材料的组成。其中前二位数字表示主要合金元素（碳除外）的百分含量，后二位数字表示次要合金元素的百分含量，当合金元素在两种以上时，其他元素的含量在材料标准的化学成分栏目中予以说明。如图 2-1 所示。铁基粉末冶金材料（前缀第一个字母用基体铁的代号 F 表示）前二位数字为主要合金元素百分含量，后二位数字则为化合碳百分含量。烧结铁不含碳和其他合金元素，故用 F-0000 表示；烧结碳钢除碳外不含其他合金元素，故前面两位数为 00，后面两位数字为化合碳的含量，如图 2-2、图 2-3 所示。

值得注意的是，铁基粉末冶金材料牌号中化合铁含量与成分栏目中碳含量（范围）是有差别的，牌号中标出的碳含量只是含量代号，它和实际含量范围对应如下：

牌号中碳含量代号	实际碳含量范围/%
00	0.0~0.3
05	0.3~0.6
08	0.6~0.9

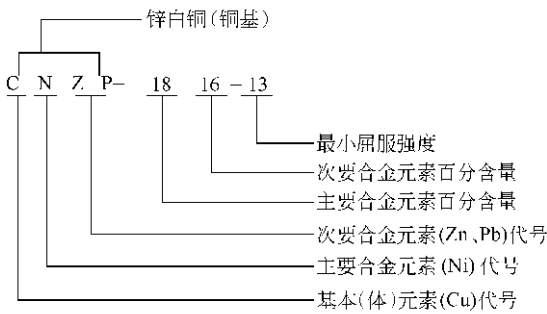


图 2-1 锌白铜代号表示法

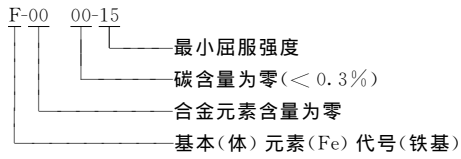


图 2-2 烧结铁代号表示方法

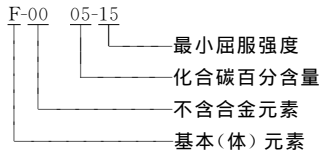


图 2-3 铁基烧结碳钢材料代号表示法

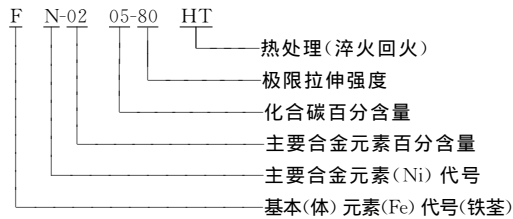


图 2-4 铁基(铁镍合金)材料代号表示法

(3) 第一组数字后面的一组数字(两组数字之间，用“-”隔开)表示最小屈服强度标值。实际强度值需乘上 10^3 ，单位为 psi ($1\text{psi}=6894.76\text{Pa}$)。因此，最小屈服强度的实际值=最小屈服强度标值 $\times 10^3$ (psi)。最小屈服强度若以 MPa 为单位，则在最小屈服强度标值后应乘上 6.895 ($1\text{psi}=6.895\times 10^{-3}\text{MPa}$)。对于热处理(淬火回火)状态下的材料来讲，其强度数字后标注后缀字母 HT，表示该强度值是热处理后的极限拉伸强度(即通常所说的 σ_b)，而不是屈服强度(即通常所说的 σ_s)，如图 2-4 所示。

(4) 对于由 Ni、Mo、Mn 等为主要合金元素的预合金钢粉制造的烧结低合金钢和以 Ni、Cr、Mo 等为主要合金元素的不锈钢粉制造的烧结粉末不锈钢这类铁基粉末冶金材料来说，其材料代号的表示与上面有所不同。采用的是源于美国钢铁学会合金代号系统的表示方法。其中预合金化低合金钢以字母 FL 开头，表示预合金化，后面为添加的主要合金元素代号。前缀字母代号后的一组 4 位数字(它们之间用“-”隔开)中，前两位数字表示预合金系列牌号，后两位数字表示碳的百分含量，如图 2-5 所示。至于添加的合金元素的百分含量可在材料标准中化学成分栏目中找到。有的合金牌号(如 FLN_2 ， FLN_4 等)，则在 N 的右下标将 Ni 的百分含量标示出来，如图 2-6 所示。

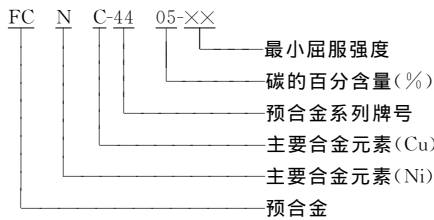


图 2-5 预合金化烧结低合金钢代号表示法 (1)

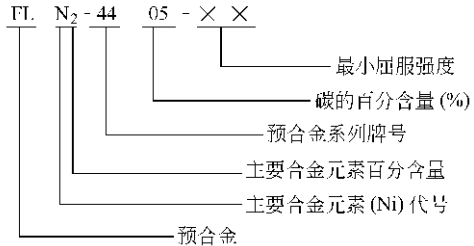


图 2-6 预合金化烧结低合金钢代号表示法 (2)

粉末烧结不锈钢以字母 SS 开头，表示预合金不锈钢。其中以 Cr、Ni 为主要合金元素的预合金奥氏体不锈钢粉制造的 300 系列粉末烧结不锈钢主要有 SS-303L-12 (-15)、SS-303N₁-25 (N₂-35)、SS-304L-13 (-18)、SS-304N₁-30 (N₂-33、-38)、SS-316L-15 (-22)、SS-316N₁-25 (N₂-33、-38) 等。这里 L 表示低碳、N 表示在分解氨中烧结(以下同)。奥氏

体不锈钢由于含有一定量（一般在8%以上）的Ni，使 r 区扩大，在室温下能获得稳定的奥氏体组织，其可加工性好，耐磨性强，无磁性。而以预合金化铁素体或马氏体不锈钢粉制造的400系列粉末烧结不锈钢主要有SS-410-90HT、SS-410L-20、SS-430L-24、SS-430N₂-28、SS-434L-34、SS-434N₂-28等。其中铁素体不锈钢中铬含量在13%以上（一般为16%~18%）。单相铁素体不锈钢，如SS-410L、SS-430、-434L等，不但抗腐蚀性和抗氧化性能比马氏体不锈钢好，可冷加工和退火，而且具有良好的软磁性能。马氏体不锈钢（如SS-410）因加有一定的碳，能使 r 区扩大，可以像碳钢那样进行热处理获得马氏体组织，具有较高的强度、硬度和良好的耐腐蚀性，但耐磨性不如铁素体不锈钢，更不如奥氏体不锈钢。

2.1.1.2 国际标准化组织 ISO 5755《烧结金属材料规范》（2000年版）

国际标准化组织 ISO 5755《烧结金属材料规范》曾分别以第一部分、第二部分、第三部分、第四部分和第五部分先后颁布施行，1996年将五个部分统一为ISO 5755《烧结金属材料规范》。2000年该标准规定了用于制造轴承和结构零件的各种牌号的烧结金属材料的化学成分及相应性能。这些材料的代号（牌号）包括描述代码字母P（代表粉末冶金P/M）、识别代号ISO 5755和材料专用代码三部分。除含义可能不明确的购买和技术文件外，该材料规范表中没有使用描述代码和识别代码，只给出材料专用代码。

材料专用代码由三个专用代码段组成，相邻两段之间用“-”隔开。代码左边第一个代码段为1~3个大写字母代号，用来描述材料基本（体）金属及合金元素加入方式。字母代号的具体含义如下：

- F——铁基粉末冶金材料，具体指纯铁或混有合金添加剂的铁粉制取；
- FD——铁基粉末冶金材料，具体指加有扩散合金化添加剂的铁粉制取；
- FL——铁基粉末冶金材料，具体指由预合金化钢粉制取；
- FX——铁基粉末冶金材料，具体指熔渗铜粉；
- C——铜基粉末冶金，具体指由混有合金添加剂铜粉制取；
- CL——铜基粉末冶金，具体指预合金化铜基粉末制取；
- FLD——混入有扩散合金化添加剂的预合金钢粉（待用）；
- FLA——混入有合金化添加剂的预合金钢粉（待用）。

代码中间为第二代码段由一组数字或数字与字母代号组成，前面不带小数点的两位数字表示碳含量，00表示不含碳或碳含量 $<0.3\%$ ，05表示碳含量为 0.5% 左右（ $0.3\% \sim 0.6\%$ ），08表示碳含量为 0.8% 左右（ $0.6\% \sim 0.9\%$ ），如图2-7、图2-8所示。后面接着就是表示主要合金元素（含量最高的合金元素）的大写字母代号及其百分含量（和上面一样不带小数点的数字05表示 0.5% ，07表示 0.7% ），如图2-9、图2-10所示。当材料中还含有其他合金元素时，则只对含量第二高的合金元素用大写字母代号依次标在主要合金元素含量数字后面，而不标明其百分含量，如图2-11所示。粉末烧结不锈钢则只标不锈钢系列代号而不标注合金元素代号及其含量数字，如图2-12、图2-13所示。

合金元素字母代号所代表的意义对应如下：

- C——铜（Cu）
- T——锡（Sn）
- M——钼（Mo）
- Z——锌（Zn）
- P——磷（P）
- G——石墨
- N——镍（Ni）

代码右边的第三个代码段由几位数字和字母代号组成。数字表示材料的最小屈服强度。热处理过的材料则为最小抗拉强度，强度数值后面用“H”表示热处理状态。用作轴承材料的强度值为最小压溃强度，数字前面冠以字母“K”，以示区别。强度单位为MPa，如图2-10所示。

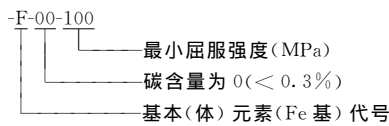


图 2-7 烧结铁材料代号表示法

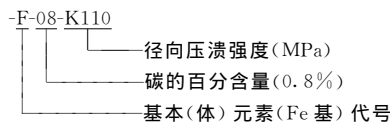


图 2-8 铁基（碳钢）材料代号表示法

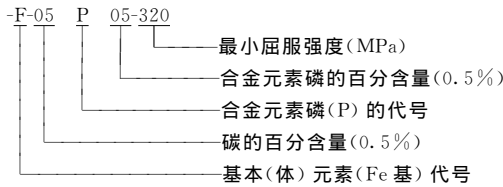


图 2-9 铁基磷钢材料代号表示法

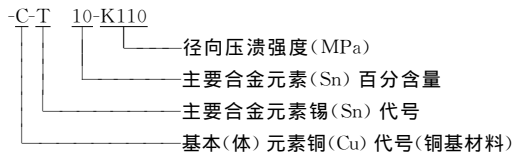


图 2-10 铜基轴承材料代号表示法

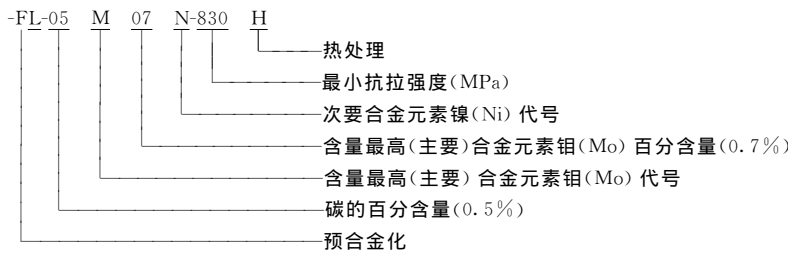


图 2-11 铁基预合金化钼镍钢材料代号表示法

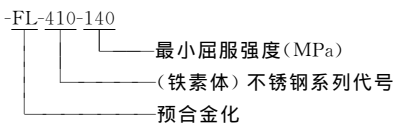


图 2-12 烧结不锈钢代号表示法

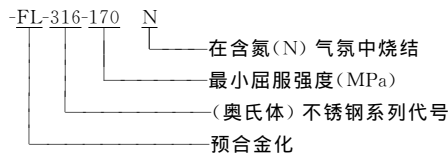


图 2-13 烧结不锈钢代号表示法

上述这些材料只是粉体材料中应用比较典型的一部分，还有许多特殊用途的材料由于篇幅限制未能全部介绍。随着社会的发展，科学技术的进步，还将产生许许多多的具有各种特性的材料类型和品种。分析了解这些材料类型及其性能要求的主要目的在于指导产品生产过程（包括正确进行产品设计，合理选择工艺流程与工艺参数）。作为模具设计者，就是要通过产品分析，根据产品材料类型及其使用性能要求所要采取的工艺流程，合理设计压坯的尺寸、形状、单重、密度及精度。因为不同的材质类型、不同的使用性能要求、不同的工艺流程在压坯设计上是有所不同的，有些场合甚至是明显不同。例如：对于硬质合金与铁基中、高强度结构零件，为了获得良好的使用性能，都要求产品具有高的密度（或低的孔隙度），尤其是硬质合金，往往要求孔隙度在 0.3% 以下。但由于硬质合金与铁基制品材质体系不同，两者在致密化机制上存在明显差别。前者主要靠液相烧结实现，而不是靠提高成形单位压力获得高的压坯密度来达到高的产品密度。相反，由于硬质合金粉料中 WC、TiC 等难溶金属碳化物又硬又脆，成形压力太高，不但得不到高的压坯密度，反而会引起分层、开裂等压制废品，因此硬质合金压坯的单位成形压力较铁基制品要低得多，一般 200~300MPa 即可，故压坯的相对密度设计得也比较低（压坯相对密度一般为 62% 左右），压坯的强度是通过汽油橡胶或石蜡等黏结剂来保证。铁基制品（粉末锻造预成形坯、熔渗骨架除外）一般属固相烧结，其制品的密度除了依靠烧结温度、保温时间外，在一定程度上还依靠较高的压坯密度来达到（压坯相对密度一般在 80% 以上）。因此，中等强度以上的铁基制品在压制成形

时需要采用比较高的单位压力（一般在 $400\sim 500\text{MPa}$ ）。

即使同一材质体系产品，由于设计使用性能要求不同，特别是产品强度、韧性、硬度等力学性能要求不同，产品密度要求也有很大差别。一般来讲，强度要求高，密度相应也要求高，因为材料的强度、韧性等力学性能随材料孔隙的增加而降低。例如：铁基含油轴承这类低强度多孔轴承材料强度要求不高，密度也较低，其孔隙度要求在 15% 以上，有的接近 30% ，因此压坯密度在 $5.6\sim 6.0\text{g/cm}^3$ 即可。用于一般中等强度的结构零件的铁基制品密度一般在 $6.6\sim 7.0\text{g/cm}^3$ ，而用于中高强度的铁基结构零件的密度则要求在 $7.2\sim 7.5\text{g/cm}^3$ 以上。除了要求一定的压坯密度外，有的还要对烧结件采取复压、复烧，甚至热锻等后续工序来获得高的密度，以满足产品性能要求。有些产品即使强度要求不高，但有的要求气密性（密封性）好，有的要耐蚀性强或磁导率高，也需要高的压坯密度来获得高的产品密度。

除了根据产品使用性能要求合理设计压坯密度外，工艺过程也是压坯设计需要考虑的。有的产品密度要求高，其密度并不是采用高的压坯密度来达到的，而是采取粉末热锻等方法来实现的。这时，在考虑热锻前预成形坯的尺寸、形状和密度时要结合后面的热锻工艺特点，合理进行压坯（预成形坯）的设计。从后面热锻模具设计中将会看到，粉末热锻预成形坯的尺寸精度与形状、位置精度、表面粗糙度及密度要求也没有那么严格。对于用于熔渗的骨架压坯来说，则应按照熔渗金属要求的金属量严格控制好骨架压坯的孔隙度（或密度），尽可能达到理想的熔渗效果，避免渗不满和因孔隙度偏低（密度偏高）而渗不进的现象发生。

2.1.2 零件尺寸、形状分析

除了从材质类型、使用性能要求及相应的制造工艺流程方面进行分析考虑压坯的尺寸、形状、精度和密度外，还要从模压成形过程、压模结构与压模零件强度和刚度等方面对产品的尺寸、形状进行分析，看哪些适合模压成形，哪些不适合或很难采用模压成形方法生产，如何使不适合或难于模压成形的尺寸、形状修改成适合模压成形或易于模压成形的尺寸、形状。

尽管产品零件尺寸大小不一，形状各异，有的属简单的圆柱状、圆环状或板块状，有的则带有盲孔、凸台、斜面、凹槽，还有的带有径向孔、倒锥度、尖角、锐边等，但从模压成形过程特点及要求来讲，影响压制过程和压坯质量的因素除了零件的水平截面形状和尺寸外，更重要的是看水平截面形状和大小沿压制方向上是否发生变化。因为零件的截面形状，不管是规则形状还是复杂形状，除了个别情况外，原则上都是可以压制成形的，可以通过阴模模腔和芯杆侧面形状来保证。随着电火花、线切割等先进模具加工技术和方法的广泛使用，加工这类复杂形状的阴模模腔和芯杆表面都不存在多大难度。但是截面尺寸、形状沿压制方向变化与否，其成形过程及其对压模设计的要求上则存在着很大的区别。如果垂直于压制方向的所有水平截面的尺寸、形状沿压制方向没有变化（即通常所说零件水平截面上各点的高度均相等的等高压坯），不管截面形状是圆形、椭圆形、长方形、正方形、多边形等规则形状，还是由渐开线、摆线等特殊曲线构成的不规则形状；也不管是实心的还是带平行于压制方向有通孔的零件，它们都只有两个垂直于压制方向的平行端面，压制这类零件只需采用一个上模冲、一个下模冲和一个阴模或外带一到几根芯杆（对于带有通孔的压坯而言）即可成形，压模结构也比较简单。如果垂直于压制方向的水平截面的形状和大小沿压制方向发生变化（即通常所说水平截面上不同部位的高度不等的不等高压坯），为了成形这类零件，无论是装粉高度、粉末压缩量，还是压制速度的要求都有所不同，成形过程也比较复杂，压模结构也因零件尺寸形状的不同而不同。

因此，分析零件尺寸形状时除了看有无不适宜模压成形过程（包括装粉、压制、脱模）