

高 等 学 校 教 学 用 书

粉末冶金模具设计



冶 金 工 业 出 版 社

高等学校教学用书

粉末冶金模具设计

中南矿冶学院 姚德超 主编

冶金工业出版社

高等学校教学用书
粉末冶金模具设计
中南矿冶学院 姚德超 主编

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 7 1/2 字数207千字
1982年 5 月第一版 1982年 5 月第一次印刷
印数00,001~4,000册

统一书号: 15062·3839 定价1.00元

前 言

粉末冶金这门新的冶金技术和先进工艺,本世纪来,得到了迅速的发展,在现代科学技术中起着重大的作用。根据粉末冶金专业和材料科学及工程专业粉末冶金专门化教学计划的安排,有关粉末冶金方面的课程设有《粉末冶金原理》、《粉末冶金模具设计》、《硬质合金》和《铁基粉末冶金》四门。本书是根据《粉末冶金模具设计》教学大纲编写的,可作为高等院校专业课教科书,也可供粉末冶金工程技术人员和研究人员参考。

在粉末冶金的科学研究和生产中,模具设计是很重要的一环,它关系到产品的品种、质量、成本、工作效率和生产安全,直接影响粉末冶金工业的发展。本书是在1972年中南矿冶学院自编讲义《粉末冶金模具设计》的基础上,参考了国内外有关粉末冶金模具设计的手册及资料,并收集和总结了有关的生产实践经验编写而成的。书中力求加强粉末冶金模具设计原理和典型模具设计,并增加了压机选择、压制方式的选择、不等高压坯的压模设计、组合模具设计、粉末热锻模设计和压模自动化机构设计等新内容。

本书由姚德超同志主编并编写第一章、第二章、第三章,参加编写的还有王治海同志(第四章、第五章、第八章)和熊春林同志(第六章、第七章)。

东北工学院李规华、韩金贵,广东矿冶学院黄声洪,青岛粉末冶金研究所王焕元等同志,在本书审稿中提出了宝贵意见,在此致以深切的谢意。

由于我们水平有限,书中缺点和错误在所难免,欢迎广大读者批评指正。

编 者

1981年3月

目 录

第一章 粉末冶金模具设计的基本原则和方法	1
第一节 粉末冶金模具设计的基本原则	1
第二节 粉末冶金模具设计的基本方法	3
第二章 压坯设计和压机选择	8
第一节 压坯设计	8
第二节 粉末制品压机的选择	23
第三章 模具设计原理	45
第一节 压制过程和精整过程中力的计算	45
第二节 压坯密度分布与压制方式的关系	53
第三节 不等高压坯压模的设计原理	68
第四节 组合模具的设计原理	72
第五节 压制过程的图示	85
第四章 压模结构设计	88
第一节 压模结构实例	88
第二节 压模自动化机构的设计	119
第五章 精整模结构设计	147
第一节 精整与整形	147
第二节 模具结构设计	148
第三节 精整模具	151
第四节 精整送料机构	160
第六章 热锻模结构设计	163
第一节 粉末热锻的特点及锻模设计的要求	163
第二节 预成形坯的设计	167
第三节 热锻模结构实例	172
第七章 模具零件的尺寸计算	176
第一节 压模零件的尺寸计算	176
第二节 其它模具零件的尺寸计算	210
第八章 模具主要零件的结构设计与制造	219

第一节	模具主要零件的结构设计	219
第二节	模具制造的一般要求	226
第三节	模具材料的选择及热处理	228
第四节	模具零件的加工	233
第五节	提高模具寿命的途径	240

第一章 粉末冶金模具设计的 基本原则和方法

粉末成形是粉末冶金的主要工序之一，而粉末冶金模具设计是粉末成形的重要环节，它关系到粉末冶金制品生产的质量、成本、安全、生产率和自动化等问题。特别是由于粉末冶金具有少、无切削的工艺特点，所以模具对粉末冶金工艺和零件有极重要的影响。同时，模具设计是生产和科研中的重要工作内容，也是培养学生分析问题解决问题能力的重要方面。掌握粉末冶金模具设计方法，精心设计高质量自动化模具，是迅速发展粉末冶金的需要。

粉末成形方法很多，因此粉末冶金模具的种类也多种多样，有压模、精整模、复压模、锻模、挤压模、热压模、等静压模、粉浆浇铸模、松装烧结模，等等。按材料的不同，模具又可分为钢模、硬质合金模、石墨模、塑料橡皮模和石膏模等。但应用最广泛的是压制、精整、复压和锻造用的钢模及硬质合金模。本书只介绍压模、精整模、复压模和锻模设计等内容。

第一节 粉末冶金模具设计的基本原则

在压模、精整模、复压模、锻模的设计、制造和使用过程中，如果模具设计不合理常常会引起产品缺陷、模具制造困难和安全事故。例如：坯件的开裂、分层、掉边、掉角，坯件精度、光洁度不合要求，密度分布不均匀，坯件脱模困难，模具难于加工，模具容易损坏和炸裂，使用时操作繁杂，劳动强度大，模具费用过高，等等。生产实践中所出现的这些问题，提出了对粉末冶金模具设计的基本要求，从而逐步形成了粉末冶金模具设计的原则：

(1) 充分发挥粉末冶金少、无切削的工艺特点, 保证坯件达到几何形状、精度和表面光洁度、坯件密度及其分布等三项基本要求。无论是压模、复压模、锻模还是精整模, 都要求模具正确反映坯件的几何形状。因为坯件的几何形状由模腔形状决定, 所以要充分发挥粉末冶金少、无切削的工艺特点, 做到经1~2次成形坯件形状就与零件形状相同或相近。坯件的精度和表面光洁度也决定于模具的精度和模腔内壁的光洁度。所以, 要根据粉末冶金制品图纸和模具加工条件, 合理提出模具精度和表面光洁度的要求。对于压制和锻造而言, 满足压坯和锻件密度及其分布的要求是非常重要的。在压制过程中, 要达到一定的形状、尺寸和平均密度是比较容易的, 但要使压坯密度分布很均匀却比较困难。形状越复杂, 压坯密度分布越不均匀, 所以密度分布的均匀性成为控制压坯质量的主要指标, 也是压模设计中的主要技术要求。由于压坯密度分布的均匀性直接影响制品的机械物理性能、几何形状和精度, 所以必须合理选择压制方式、压模结构和压制工艺条件等, 使压坯密度分布较均匀。在锻造过程中, 锻件的密度及其分布也是质量控制的主要指标之一, 它取决于预成形坯设计、锻模设计和锻造工艺条件。

(2) 合理设计模具结构和选择模具材料, 使模具零件具有足够高的强度、刚度和硬度, 具有高耐磨性和使用寿命; 便于操作、调节, 保证安全可靠; 尽可能实现模具自动化和机械手操作; 对于锻模而言, 还要满足上冲头导向、预成形坯定位和锻件快速脱模等要求。

(3) 注意模具结构的可加工性和模具制造成本问题, 从模具设计要求和模具加工条件出发, 合理地提出模具加工的技术要求(如: 公差配合、精度、表面光洁度和热处理硬度等), 既要保证坯件质量, 又要便于加工制造, 并逐步实现模具零、部件的通用化, 采用通用模架和通用模具零件, 以便提高设计效率, 实现部分模具零件的批量生产, 提高模具寿命, 降低模具费用, 以降低产品的总成本。

第二节 粉末冶金模具设计的基本方法

当采用钢模压制法生产粉末冶金制品时，不论生产什么制品，首先要选择生产工艺和设计这种制品的压模。在总结生产实践经验的基础上，可以提出下列粉末冶金模具设计的基本方法：

(1) 设计前需要了解和掌握有关设计资料，作为模具设计的重要依据。这里包括：制品图纸及技术要求（如：制品性能、形状、尺寸、精度和表面光洁度等）；制品生产批量，制品生产工艺流程及工艺参数（如：粉末混合料成分、松装密度、流动性、压制性、单位压制压力、压坯密度、压缩比、弹性后效、烧结收缩率、精整余量、机加工余量、复压装模间隙和压下率等）；压机类型及主要技术参数（如：公称压力、脱模压力、压机行程、每分钟压制次数、工作台面积、压机自动化程度和安全保险装置等）；模具加工设备及能力；典型模具图册及模具使用过程中曾出现的问题，等等。

(2) 根据制品图纸设计坯件，选择压机和压制方式，设计模具结构草图。从生产工艺、压制成形和经济成本方面分析制品图纸及技术要求，看是否适于用粉末冶金方法生产。根据制品图纸及技术要求和粉末冶金生产工艺的特点，设计坯件的几何形状、精度和密度，为了使制品适于压制成形，或为了简化模具结构，常对制品形状进行修改，设计出适合于压制的压坯；但在压制条件许可的前提下，应尽可能设计出与制品形状相同或相近的压坯。在设计坯件形状的同时要确定压制方向。然后根据压坯的形状、高径比、生产批量和压机来选择压制方式、压模结构类型。一般可按制品的高径比 (H/D) 或高度与壁厚之比 (H/T) 来选择压制方式和压模结构类型。

当圆柱体压坯的高径比 $H/D \leq 1$ 或圆筒形压坯的高壁厚比 $H/T \leq 3$ 时，通常可采用单向压制和单向压模。

当 $H/D > 1$ 或 $H/T > 3$ 时，通常可采用双向压制和双向压模。

当 $H/T > 4$ 时,最好采用压制时芯杆和阴模能相对移动的压模。

当 $H/T > 6 \sim 10$ 时,可采用摩擦芯杆压模,或采用压制时阴模、芯杆和上模冲能相对于下模冲移动的压模结构。采用后者时,芯杆和阴模的移动速度既可以相同,也可以不同;考虑到粉末和阴模、芯杆之间的摩擦,一般浮动芯杆的移动速度约等于阴模移动速度的二分之一。但上模冲的移动速度要比阴模和芯杆的大,才能使压坯密度分布较均匀。

然后,设计压模结构草图。一般要求压模装配草图能表示装粉、压制和脱模阶段,或表示压制过程其他阶段的相对位置。最好将模具设计草图沿中心线分为两部分,以一半表示装粉状态,另一半表示压制状态或脱模状态。这样便于分析和讨论各种压模结构方案,寻求最佳的压制效果,还可以发现用其他方式不易觉察的问题,可以清晰地看出各运动件之间是否可能发生抵触;并有助于根据行程需要来尽量缩短模冲长度。草图绘制后,还要根据模具设计原则,仔细分析压模结构。

对于需要采用粉末冶金锻造生产的制品,首先要根据制品图纸及技术要求,设计粉末锻件的几何形状、精度、表面光洁度和密度;再按锻造时多孔预成形坯致密-变形的规律和断裂极限,设计预成形坯的几何形状、密度和重量;然后根据预成形坯和锻件的要求设计压模结构草图和锻模结构草图。

(3) 模具材料的选择及要求 由于压模、精整模、复压模和锻模都是在较高压力下工作的,模具工作表面要经受严重的粉末摩擦,因而对模具材料应提出严格的要求。模具材料的选择关系到坯件质量(如:密度分布、精度、表面光洁度等)和模具的寿命以及生产安全、产品成本、生产率等问题。因此,主要模具零件材料应满足下列要求:高强度、高硬度和高耐磨性,高的刚度和小的热膨胀系数,优良的热处理性能和一定的韧性,较好的机加工性能,等等。为了提高模具寿命、节约优质合金钢材、降低模具加工成本,对于不同用途的模具,和不同制品形状、密度以

及粉末原料,应选用不同的模具材料;同时,对于不同的模具零件,也常常由于工作要求不同,而选用不同的模具材料及热处理工艺。阴模是模具中最主要的零件,其工作条件最苛刻,加工制造较困难,对材料的主要要求是高强度、高硬度、高耐磨性和抗疲劳、抗振动性能,一般选用硬质合金、高速钢、高合金工具钢、低合金工具钢和碳素工具钢来制造。芯杆和阴模具有大致相同的工作要求,常用与阴模相同的材料来制造,但要求有较好的抗弯强度和一定的韧性;芯杆的热处理硬度稍低于阴模,特别是细长芯杆,要求比粗短芯杆具有较好的韧性。模冲的工作条件与阴模不同,要求有良好的韧性,同时也要求耐磨、抗疲劳和抗振动,硬度可以降低些,一般选用与阴模不同的材料,例如:低合金工具钢、碳素工具钢和青铜等。模套、压垫、模座、顶杆、控制杆、导柱、模板等辅助零件,常选用碳素钢(如:45号、50号钢)和低合金钢(如:40Cr、GCr15)来制造。锻模材料的选择与精密模锻材料相同,要求在工作温度下具有高强度、高韧性和高耐磨性,其热处理硬度比压模低得多,常用的有3Cr2W8V、4Cr5W2VSi、5Cr4W5MoV等模具钢。

(4) 主要模具零件尺寸的计算方法 坯件尺寸主要由模腔尺寸决定,一般先计算与模腔直接相关的尺寸(如:阴模内径、芯杆外径、阴模高度等),然后按照装配关系计算其他模具零件的尺寸。模具径向尺寸的计算,以坯件内外径为基本依据,考虑到工艺过程中尺寸的变化,先确定阴模内径和芯杆外径,其他模具零件的径向尺寸由模具装配关系确定。模具高度方向尺寸的计算,以坯件高度为基本依据,考虑到工艺过程尺寸的变化,先确定阴模高度,其他模具零件的高度方向尺寸均由模具装配关系确定。采用不同的生产工艺,模具零件尺寸的计算方法也不同。模具的强度和刚度,不仅关系到操作安全,而且影响坯件的精度和生产成本。不同用途的模具和模腔形状不同的模具,应采用不同的强度计算方法。模具零件尺寸计算的关键在于正确地选择设计参数(如:弹性后效、烧结收缩率、精整余量、机加工余量、复

压装模间隙和压下率等)。在生产实践中,由于粉末成分和性能、工艺条件和设备不同,有关模具设计参数的数值差别较大。因此,要根据实际情况进行综合分析,合理选择设计参数;同时,在不降低坯件性能要求的前提下,留有可调节的余地,以便适应模具设计参数的可能变化。

(5) 绘制模具装配图和零件图,标注尺寸偏差和形位公差及其他加工要求 在确定模具零件尺寸的基础上,根据制品图纸、坯件设计图纸和模具结构草图,考虑模具零件在工作过程中的运动状况,以及机加工能力,合理提出模具加工的技术要求,包括模具配合间隙、尺寸偏差、形位公差、表面光洁度、热处理硬度及其他要求。阴模、芯杆与模冲之间的动配合,其配合间隙大小将直接影响制品的精度、生产率和模具寿命。在选择模具配合间隙大小时,既要考虑机加工要求,又要考虑粉末冶金工艺特点。例如,压制时不让粉末嵌入模具间隙之中,以免引起模具卡住和剧烈磨损;所以,必须根据粉末粒度、压模自动化程度、压坯尺寸、制品精度和机加工要求来选择压模的配合间隙。据资料介绍,在某些情况下,用于压制轴套类制品的模具配合间隙为 $0.005\sim 0.010$ 毫米;但对于压制不同直径的压坯取不同的配合间隙:当直径为 $10\sim 25$ 毫米时,取 $0.012\sim 0.020$ 毫米,当直径为 $25\sim 40$ 毫米时,取 $0.015\sim 0.025$ 毫米。如果压制粗粉末,或者压制宽度或直径大于 51 毫米的压坯时,可取较大的配合间隙,通常将配合间隙定为直径的 0.05% 。国内用于压制铁基轴套模的配合间隙取 $0.008\sim 0.025$ 毫米;用于压制铁基齿轮模的配合间隙一般为 0.015 毫米左右,但上模冲与阴模之间公法线及齿根圆的间隙可取 $0.03\sim 0.05$ 毫米;用于硬质合金刀片模的配合间隙取 $0.03\sim 0.05$ 毫米。粉末热锻模的配合间隙,一般可定为锻模预热时膨胀量的 $1.2\sim 1.5$ 倍,在摩擦压力机上锻制中等锻件(直径 ≤ 80 毫米)时,可取 $0.08\sim 0.10$ 毫米。但间隙太小,难以产生飞边,达不到保护模具的目的;间隙太大,飞边过多,锻件密度难以保证;所以取 $0.10\sim 0.15$ 毫米较好。为了保证制品精度,模具

精度应高于制品精度，主要模具零件工作面以5~8级精度为宜，用于齿轮模的电加工电极齿轮精度应比产品高1~2级，以6- D_c ~7- D_c 级精度为宜。提高模具表面光洁度，可以显著提高制品表面光洁度和模具寿命，但表面光洁度应与机加工精度相适应，模具工作面的光洁度应比产品高几级，一般以 $\nabla 8 \sim \nabla 10$ 为宜。根据模具和模具零件的不同用途，提出不同的热处理硬度要求。必要时，对模具还要求磨平后做退磁处理。此外，要绘制制品在生产过程各阶段的半成品图纸，为车间提供制造和检验的依据。

第二章 压坯设计和压机选择

第一节 压坯设计

压坯设计包括压坯形状设计、压坯精度的设计和密度的设计。一种零件能不能压制成形，主要取决于零件形状的复杂程度。按形状复杂程度压坯可分为五类：

- (1) 具有两个垂直于压制方向的平行平面压坯；
- (2) 具有一个或多个平行于压制方向的通孔高压坯和矮压坯；
- (3) 具有一个外法兰或内法兰的压坯；
- (4) 沿压制方向截面发生变化的多台阶压坯；
- (5) 沿压制方向具有斜面和曲面的压坯。

一、压坯形状的设计

用粉末冶金零件来代替普通机加工零件时，除了技术上满足原零件的设计和使用要求以外，还要考虑零件形状是否适于压制成形。因此，需要对零件形状进行分析和设计，在保证满足使用要求的前提下，把零件设计成适于压制的压坯。例如，许多机加工轴套，过去有油槽，改用粉末冶金轴套后，油槽压制不出来，需要补充机加工，考虑到多孔轴套含油的特点，取消了油槽，实践证明是可行的。不少机型的气门导管，原来都带有凸缘，虽然也可以压制，但压模结构复杂，实践证明，可以取消凸缘。又如用204双环球面轴承代替滚珠轴承，在低速轻负荷的皮带运输机上使用，效果良好。

压坯形状的设计不仅关系到压模结构的设计，而且是推广粉末冶金制品的重要环节。为此，应根据压制过程的要求，对压坯进行分析和设计，使不可压制或难压制的产品变为可压制或易压制的产品。在压坯设计中，一方面要充分发挥少、无切削的工艺

特点，在压制条件许可的情况下，尽可能设计出与零件形状相同或相近的压坯，以便减少补充机加工和粉末的浪费；另一方面也要从零件质量要求、压制过程特点和压模结构，以及使用寿命等方面进行分析，避免压坯中出现不可压和难压的形状。往往压坯形状的少许改变，可以简化压模结构，减少模具费用，提高压模使用寿命和压坯质量。表2-1、2-2、2-3、2-4、2-5和图2-2是压坯形状设计中常见的实例，从压制过程（装粉、压制、脱模）、压模使用寿命、压坯质量、新成形方法和是否可压制等方面进行分析。

1. 从粉末均匀充填有无困难方面来分析

压制过程中，粉末在同时受压的情况下，实际上几乎不发生横向流动。为了保证压坯密度的均匀性，必须使粉末均匀充填模腔的各个部位。尤其在压制薄壁压坯和截面有变化的压坯时，粉末的均匀充填特别重要。如表2-1所示，薄壁、壁厚差悬殊、壁厚急剧改变和截面形状出现尖角的压坯，由于薄壁和尖角部位难以均匀充填粉末，使压坯密度很不均匀，容易掉边、掉角或变形、开裂。可以压制的最小壁厚，取决于压坯的形状和尺寸，以及粉末的压制性。用圆角代替尖角有利于压制时阴模中粉末的充填；压坯法兰与主体分界处一般需做成半径不小于0.25毫米的圆角，同时也应避免圆角半径过大。压制时尖角部位不利于粉末的充填，并且压制时易产生应力集中。

2. 从压制有无困难方面来分析

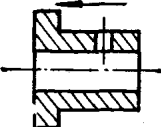
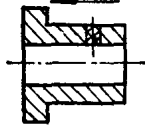
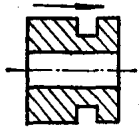
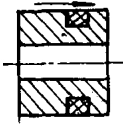
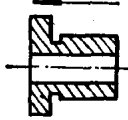
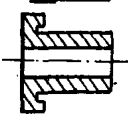
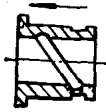
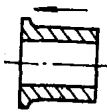
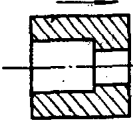
零件中的径向孔、径向槽、螺纹和倒锥度，一般是不可压制的，需要在烧结后用补充机加工来完成，设计压坯形状时，必须做相应的修改，如表2-2所示。由于一般压机只能在垂直方向上压制，没有水平方向的压制工装，所以上述压坯一般是不可压制的。设计人员因为习惯于机加工要求，常将压坯法兰和主体分界处的退刀槽，设计成与压制方向垂直，这样的径向槽也是不可压制的，设计压坯形状时应予避免。虽然也可用水平压制装置来成形径向槽和径向孔，但这种压机的制造费用比进行补充机加工的

表2-1 改善粉末充填模腔状况的压坯示例

不适当的压坯形状		经修改后的压坯形状	
图	不适当部位的说明	图	修改要点
	粉末不易装均匀, 压坯密度不均匀, 烧结时易变形。		用加厚薄壁的方法减少壁厚差, 便于装粉压制, 压坯密度较均匀, 烧结时可减少变形。
	壁厚急剧变化, 装粉不均匀, 压坯密度不均匀, 易损坏, 烧结时易变形。		适当加厚薄壁部分, 减少壁厚的急剧变化, 有利于装粉、压制、脱模, 烧结时可减少变形。
	尖角部位不利于装粉, 压制时粉末充填困难, 引起压坯密度不均匀。		把尖角改为 $r > 1.0$ 毫米的圆角, 有利于装粉和压制时粉末的流动, 改善压坯密度的均匀性。
	尖角部位不利于粉末的充填和流动。		用圆角代替尖角, 有利于装粉和压制时粉末的流动, 使压坯密度较均匀。
	当法兰和主体分界处的转角为尖角时, 不利于粉末充填和流动, 压制时易产生应力集中, 易开裂。		把转角做成 $r > 0.25$ 毫米的圆角, 便于粉末充填和流动, 压制时可避免应力集中和开裂。

注: 图中箭头表示压制时压坯朝上的方向。

表 2-2 改变不可压制部位的压坯示例

不可压制的压坯形状		经修改后的压坯形状	
图	不可压制部位的说明	图	修改要点
	径向孔一般是不可压制的，也不便脱模。		把径向孔填补起来，烧结后用机加工方法做出径向孔。
	径向槽一般是不可压制的，也不便于脱模。		把径向槽填补起来，烧结后用机加工方法做出径向槽。
	径向退刀槽是不可压制的，也不便脱模。		如果需要退刀槽，可做成与压制方向一致的凹槽。
	与压制方向不一致的油槽是不可压制的，也不便脱模。		如果需要，烧结后可用机加工方法做出油槽。
	内螺纹是不可压制的，也不便脱模。		让孔的内径等于螺纹内径，烧结后用机加工方法做出内螺纹。