

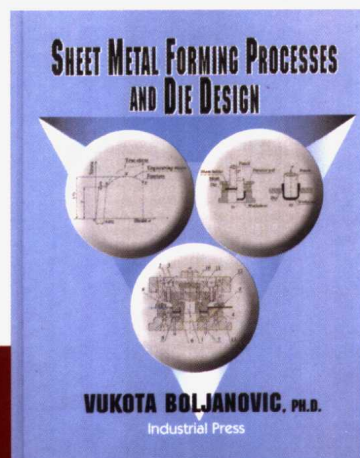
金属板料成形 及其模具设计实例

Sheet Metal Forming Processes and Die Design

[美] 武科塔·保贾诺维茨 (Vukota Boljanovic) 编著

张国强 董 红 吴承格 译

Chemical Industry Press



化学工业出版社

工业装备与信息工程出版中心

金属板料成形 及其模具设计实例

[美] 武科塔·保贾诺维茨 (Vukota Boljanovic) 编著

张国强 董 红 吴承格 译



化学工业出版社

工业装备与信息工程出版中心

·北 京·

内容提要

本书系统介绍金属板料成形工艺和模具设计的有关知识,主要包括剪切、落料、冲孔、弯曲、拉深、张拉、材料的经济性、带料设计、冲压过程中带料的传送以及模具设计的方式和方法等内容;详尽阐明各种板料成形工艺的特点和实际应用,列举大量实例说明各种成形工艺及模具零件设计和计算的公式和技巧;同时,指明各种模具零件所用材料及部件的特性和典型应用。涉及的工艺内容、尺寸计算和模具结构尽量采用简洁的公式、图、表阐述,重点突出,直观、实用。

本书可供机械、材料成形和模具设计领域的工程技术人员阅读。

图书在版编目(CIP)数据

金属板料成形及其模具设计实例/[美]保贾诺维茨(Boljanovic, V.)编著;张国强,董红,吴承格译.

北京:化学工业出版社,2005.12

书名原文:Sheet Metal Forming Processes and Die Design Press Inc.

ISBN 7-5025-8101-4

I. 金… II. ①保…②张…③董…④吴… III. ①金属材料-板材-成型②金属材料-板材-金属加工-模具-设计 IV. TG

中国版本图书馆CIP数据核字(2005)第154766号

Sheet Metal Forming Processes and Die Design/Edited by Vukota Boljanovic

ISBN 0-8311-3182-9

Copyright © 2004 by Industrial Press Inc. All rights reserved.

Authorized translation from the English language edition published by Industrial Press Inc. 200 Madison Avenue, New York, New York 10016.

本书中文简体字版由 Industrial Press Inc. 授权化学工业出版社独家出版发行。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书的任何部分。

北京市版权局著作权合同登记号:01-2005-2969

金属板料成形及其模具设计实例

[美]武科塔·保贾诺维茨 编著

张国强 董红 吴承格 译

责任编辑:张兴辉 刘丽宏

责任校对:周梦华

封面设计:尹琳琳

化学工业出版社
工业装备与信息工程出版中心 出版发行
(北京市朝阳区惠新里3号 邮政编码 100029)

购书咨询:(010)64982530

(010)64918013

购书传真:(010)64982630

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

新华书店北京发行所经销

北京云浩印刷有限责任公司印装

开本 720mm×1000mm 1/16 印张 12 字数 222千字

2006年2月第1版 2006年2月北京第1次印刷

ISBN 7-5025-8101-4

定价:28.00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

译者前言

本书系统地介绍了金属板料成形工艺及其模具设计的内容，包括板料性能及其对成形工艺的影响和模具材料的介绍。所涉及的工艺内容、模具结构，与我国当今板料成形的实际情况较吻合，是本着先介绍变形机理，后进行相关计算，最后介绍模具结构的顺序。其中的公式、图表及模具结构图，重点突出、简明实用。

书中部分公式与我们现有的不同，工艺计算及其参数的选用也有所不同。特别是适于初次接触该领域的初学者，同样适于大专院校学生，工程技术人员。我们深信此书会给模具设计者提供极大的帮助。

本书由山东大学材料学院张国强翻译，山东电子职业技术学院的董红老师进行了校对，山东交通学院的吴承格老师、山东大学威海分校的林淑霞老师也参与了本书的翻译工作。感谢山东大学材料学院的研究生张磊、王岩山、周善崇的参与和帮助，另外感谢关心本书翻译的所有人。

由于译者水平有限，译文中的不妥之处在所难免，希望读者批评指正。

译者

2005年11月

前言

大量的板料金属成形工艺被运用到板料金属加工车间的生产实际中，运用由最新科学技术衍生而来的复杂设备，许多这类的变形工艺被用在飞机、汽车和其他产品的制造中，随着科学技术的发展，将来的变形工艺将会更加复杂，以满足高效率、低成本和高精度的要求。尽管有很多优点，现在更尖端的成形工艺依然不能替代对金属板料成形常用工艺和模具的需求。

本书集中了作者 30 多年的工程实践经验，对当今金属板料成形工艺和模具设计提供了较全面的指导，其中大多数常用的制造方法还是用于大批量、高精度的复杂件的生产中，本书的实践多于理论，覆盖了产品分析、落料、冲孔、弯曲、拉深、张拉、材料的经济性、带料设计、冲压过程中带料的传送以及模具设计的方式和方法，读者可以从中找到一定数目的有助于模具设计和制造工艺的图示、表格、图表，各种模具操作和性能估计所需的公式和计算也包括在内，对不同的模具零部件所需的碳钢与合金钢的分类、性能及典型应用也做了介绍。

本书主要介绍简单实用的工程方法，而不是复杂的数字技术，给从事实际生产的工程师、学生、技术人员和模具制造者提供了金属板料成形工艺和模具设计的有用途径。

本书第一篇介绍了金属结构及其力学方面的内容，该部分知识对于控制和预测板料金属在成形过程中性能和变化是很必要的。

第二篇涵盖了金属板料成形的所有内容，金属板料的基本成形工艺包括剪切、落料和冲孔，弯曲、张拉以及拉深，各种拉深工艺的力学标志着变形和载荷的方式，冲压成形、拉深工艺和工艺极限能被计算出来，本书所包括的其他各种拉深工艺（缩口、胀形、冲孔翻边、旋压及软模成形）大多应用在飞机和汽车行业。

模具对大批量生产是一个非常重要的概念，在本书的最后一部分对此作了讨论，给出了一个完整的知识概念及模具设计和金属板料成形所需的技巧，特别要注意以下内容：

- 各种模具零件所需的计算及相关公式；
- 与之有关的准则和改进途径；
- 各种模具零件所用材料及部件的特性及其典型应用。

尽管本书提供了许多有助于板料成形工艺、模具设计以及模具制造的计算例子、示意图和表格，很明显，要把将来金属板料成形所需的模具设计和其他工具的所有资料、图表、统计及其他信息全部罗列出来是不可能的。但本书还是尽最大努力为模具设计人员提供了实际工作中所需的绝大部分资料。

本书应归功于很多人，任何书都不是在真空中写出来的，我很感激我的妻子，感谢她对我长期孤独生活的理解，我还希望对工作主管 Em Tuner Chitty 表达深深的感激和谢意，是他花费了大量的时间来编辑和校正。最后我要感谢来自田纳西州立大学的英语教师 Anwar F. Accawi，是他鼓励我编写本书。

Vokota Boljanovic (武科塔·保贾诺维茨)

田纳西州 纳克斯维尔

目 录

绪 论	1
-----	---

第一篇 理 论 基 础

第 1 章 金属结构	5
1.1 概述	5
1.2 金属的晶体结构	5
1.3 单晶的变形和强度	7
1.3.1 金属晶体结构的缺陷	8
1.3.2 晶粒尺寸和边界	11
1.3.3 应变硬化	11
1.4 回复和再结晶	12
第 2 章 材料的力学性能	14
2.1 概述	14
2.2 应力应变曲线	16
2.3 可塑性	18
2.4 真实应力和真实应变	19

第二篇 加 工 工 艺

第 3 章 剪切工艺	23
3.1 剪切力学	23
3.2 剪切力	24
3.2.1 直刃剪切	24
3.2.2 斜刃剪切	24

3.2.3 旋转刃口剪切.....	25
第4章 落料和冲孔	27
4.1 落料与冲孔的过程.....	27
4.2 落料和冲孔间隙.....	28
4.3 冲裁力.....	30
4.3.1 带直刃的凸模和凹模.....	31
4.3.2 带斜刃的凸模和凹模.....	31
4.4 材料的节约.....	32
4.4.1 带料布置.....	32
4.4.2 改变零件形状的设计.....	34
4.4.3 多排布置.....	34
4.4.4 利用一个工件的废料作为另一个工件的坯料.....	35
4.5 修边.....	35
4.5.1 冲孔件的修边.....	36
4.5.2 落料件的修边.....	39
第5章 弯曲	40
5.1 概述.....	40
5.2 弯曲力学.....	40
5.3 弯曲力矩.....	41
5.3.1 弹塑性状态的弯曲力矩.....	43
5.3.2 纯塑性状态的弯曲力矩.....	44
5.4 弯曲力.....	44
5.4.1 “U”形模的弯曲力	44
5.4.2 单边弯曲模的弯曲力	45
5.4.3 “V”形模的弯曲力	46
5.4.4 卷边.....	48
5.4.5 滚弯.....	49
5.5 弯曲半径.....	50
5.5.1 最小弯曲半径.....	50
5.5.2 最大弯曲半径.....	51
5.6 弯曲裕度.....	52
5.7 回弹.....	55
5.8 弯曲模的间隙.....	57
第6章 拉深	59
6.1 概述.....	59
6.2 拉深力学.....	60

6.3	拉深力	63
6.3.1	首次拉深的拉深力	63
6.3.2	以后各次拉深的拉深力	64
6.4	对称拉深件毛坯尺寸计算	65
6.5	非对称拉深件毛坯形状的确定	67
6.5.1	矩形拉深件	67
6.5.2	正方形拉深件	69
6.6	影响实际拉深工作的因素	70
6.6.1	拉深过程中的缺陷	70
6.6.2	拉深过程中的润滑	70
第7章	其他成形工艺	72
7.1	张拉成形	72
7.2	缩口	74
7.3	胀形	77
7.4	冲孔翻边	79
7.5	旋压	81
7.6	软模成形	84

第三篇 模具设计

第8章	模具的分类及其组成部件	89
8.1	模具的分类	89
8.2	模具的组成部件	90
第9章	落料模和冲孔模	94
9.1	概述	94
9.2	模块	94
9.2.1	模腔形状	94
9.2.2	模块的固定方式	95
9.2.3	凹模的镶拼	96
9.2.4	模块尺寸的计算	98
9.3	凸模	100
9.3.1	凸模的几何形状	100
9.3.2	凸模的装配方式	101
9.3.3	凸模计算	102
9.4	卸料板	103
9.4.1	卸料力	104

9.4.2	卸料板的设计	104
9.5	模具的导料件和挡料件	107
9.5.1	导料板和导轨	107
9.5.2	挡料装置与侧刃	109
9.5.3	单件毛坯的定位	110
9.5.4	导正销	110
9.6	模具的压力中心	112
9.7	冲裁模具设计实例	113
第10章	弯曲模	117
10.1	概述	117
10.2	简单模设计	117
10.2.1	U形件弯曲模	117
10.2.2	V形件弯曲模	118
10.2.3	通用型弯曲模	119
10.3	复杂模具设计	120
10.3.1	闭式轮廓弯曲模具	120
10.3.2	特殊弯曲模具	121
10.3.3	卷边模具和铰链模具	123
10.3.4	管件成形模	123
10.3.5	多次弯曲模	125
10.3.6	组合模	126
10.3.7	级进模	126
第11章	拉深模	129
11.1	概述	129
11.2	拉深凹模	129
11.2.1	拉深凹模的圆角半径	129
11.2.2	锥形拉深凹模	131
11.3	间隙和公差	132
11.4	压边圈	135
11.4.1	压边圈的选用	135
11.4.2	单位压边力	136
11.4.3	压边力	136
11.4.4	拉深筋	137
11.5	单工序拉深模	138
11.6	多工序拉深模	140
11.7	连续模	141

11.8	球形和抛物线形件的拉深模	143
11.9	变薄拉深模	144
第12章	其他成形模具	147
12.1	缩口模具	147
12.2	扩口和胀形模具	149
12.2.1	扩口模具	149
12.2.2	胀形模具	150
12.3	翻边模具	151
第13章	模具材料	153
13.1	概述	153
13.2	碳钢与合金钢	153
13.2.1	碳钢与合金钢的牌号	153
13.2.2	各种合金元素在钢中的作用	154
13.2.3	碳钢	155
13.2.4	合金钢	155
13.2.5	钢的机械加工性能	155
13.2.6	钢的力学性能	155
13.2.7	碳钢与合金钢的应用	155
13.3	工模具钢	157
13.3.1	工模具钢的牌号与分类	157
13.3.2	冷作模具钢	157
13.4	有色金属	159
13.5	非金属材料	160
附录1	拉深件毛坯直径的计算	162
附录2	线性尺寸的公制公差	165
附录3	其他资料	174
参考文献		182

绪 论

一、金属板料成形工艺的基本特征

尽管许多零件的成形是在加热的条件下利用金属板料被加热后具有较低的变形抗力完成的，但金属板料零件通常是冷成形。

带料或毛坯是最常用的初始材料，在压力机上借助相应的工具完成成形，通常零件的形状与工具的形状相适应。

金属板料成形工艺适用于大批量生产，它们的特点是：生产效率高，材料利用率高，设备便于维修，对操作工人的技术要求不高。另外，在经济上，用板料成形零件具有许多优势，即尺寸精度高，强度大，重量轻，尺寸范围大。从最小的电子元件到飞机上的大型结构件都有板料金属零件。

二、金属板料成形工艺分类

金属板料成形工艺可以分为以下两类。

分离工艺：剪切，落料，冲孔，冲切口，穿孔等。

塑性变形工艺：弯曲，张拉成形，拉深和其他成形工艺。

分离工艺是借助于凸模和凹模或剪板机刃口对板料的剪切应力来实现材料分离的。凸模和凹模可以是任何形状，剪切轮廓可以是封闭的，也可以是不封闭的。

剪切：是指用板、盘或带状刃口来分离板材的成形工艺，该工艺可以根据所用剪切机和刃口的类型分为直刃型和旋转刃型。

落料：是借助于凸模和凹模对板料的剪切应力使毛坯沿封闭的轮廓分离出来，在该工艺中，落下的部分是工件，剩余的是废料。

冲孔：是在坯料上剪切出各种形状孔的工艺，在冲孔工艺中剪切掉的是废料，凸模周围的材料是要生产的零件。

分离：是将板料切成两个或多个零件，或将几个搭边件分开，也可以是把各种形状拉深件分开。该工序和切断不同，分离工序会导致废料的产生。

切口：是在工件材料上将板材部分切开，由于没有材料分离，故没有废料产生。

修整：是一个刮削工序，其目的是通过将工件的边沿刮削掉一薄层来改善工件的质量和精度，大约有 $100\mu\text{m}$ 厚的材料被刮掉。

塑性变形工艺是指工件材料部分或全部产生塑性变形。

弯曲：围绕一轴线周围的金属板料或带料所受的应变大小不同，受弯时其外侧受拉应力，大小超过其弹性极限。内侧受压应力被压缩。

扭转：是金属带料沿纵向轴变形的工艺过程。

卷边：是在薄的金属零件或带料上成形对折的圆边或将边缘卷曲，目的是增加刚度并获取光滑的圆形边缘。

拉深：是借助于凸模将金属板料强行拉入凹模，毛坯被成形为筒形件或盒形件的工艺过程，拉深工艺过程中板料厚度变薄很小或不变薄。

旋压：是利用圆形坯料或长管件来成形零件的工艺过程，所有旋压成形的零件都是轴对称零件。

张拉成形：是指对金属板料或带料拉伸或借助于成形模块拉伸以获取外形零件的工艺。

缩口：是将一杯形件口部尺寸变得比杯体尺寸小的成形工艺。

胀形：该工艺是指将管状零件、锥形件或曲线形零件放进可以分开的凹模里，用聚氨酯软模使其膨胀的过程。

翻边：是指在平的毛坯件上完成孔的成形的工艺工程，在这种意义上“翻边”一词就是指借助于拉深件上成形的孔向外在平的零件上成形一个凸缘。

三、冲压件的特征及其技术性能

金属板料产品的设计者对最优化生产的正确设计负有很大的责任和义务，他们必须考虑到复杂的技术因素、工艺的种类和数目、所需的生产设备（机器和模具）、材料的价格，以及材料的数量和质量。

为了更好地满足产品规范，必须设计好零部件及其操作工艺，在最大程度地满足产品质量的情况下要实现最经济性的生产，因此合理地设计产品零件是非常必要的。

为达到最优质产品的最经济性生产，必须考虑以下因素：生产中产生最少的废料，尽可能使用标准化的机器设备，尽可能减少工序，使用技术水平相对低的工人，即最大程度地降低成本，也就是说最有效的设计就是尽可能降低成本。

为保证高质量低成本的产品生产，避免质量控制纠纷，遵守一些基本的建议是应该的，比如：使用最小的拉深半径、最小的弯曲半径和最小的冲孔孔径（取决于板料厚度），以及绘图尺寸的标注方式都是非常重要的，它们对产品的质量 and 价格都会产生很大的影响。

第一篇

理论基础

在这一篇中，将讨论金属塑性变形的基本理论，有关材料方面的内容分成金属结构和金属的力学性能两章来分别介绍，为了能解决更多的问题，采用了所谓的工程师模式，考虑到读者对本书的需求，从实际应用考虑，工程师方式更有用，在科学研究中很重要的其他一些方式如滑移线分析和全能量变形都没介绍。

第 1 章 金属结构

1.1 概述

金属在文明的进程中起了很重要的作用，为什么金属自始至终对人类很有用？为什么它们具有金属光泽？为什么一些金属是固体？为什么金属具有延展性和可塑性？为什么金属是良导体？为什么金属有的软而有的硬？这些问题和类似问题的答案可以从原子结构和形成晶体结构的金属原子的金属键中获得。通常工艺过程被用来控制金属结构，而结构可以决定材料的性能，控制材料结构的主要方式之一就是利用工艺过程控制材料中出现的相以及相的分布，冶金学家和材料科学家的任务是操纵材料结构以控制其性能，这些操纵技术能用来控制和预测金属在各种制造工艺中的行为和性能，也就是说对预测和估计材料的性能，了解金属结构是极其重要的。

1.2 金属的晶体结构

区分是金属结构还是非金属结构的主要特征是其原子组织，当金属从熔融状态到固化时，原子自身排成晶体结构，根据在其结构中出现缺陷的数目和类型，以及使其聚集或原子结构连接在一起的金属键力，金属材料带有围绕确定中心自由移动的电子，由于键的作用聚集在一起形成的电子云或电子气，这些自由电子的存在和它们在一定范围的运动，以上这些方面对材料的性能影响很大。例如在外加载荷的作用下，原子的微小运动被称作弹性变形。金属最重要的特征之一就是自由电子能导电，因此金属是电和热的良导体。

在晶体结构中，原子排列呈三维空间的形式被称为晶格。晶格是由于化学键力引起的在各个方向有规律的重复结构，这种重复形式控制着强度、延展性、密度、传导性，以及形状等性能。

大部分金属是三种常见的晶体结构之一：体心立方体结构（bcc）；面心立方体结构（fcc）；密排六方结构（hcp）。

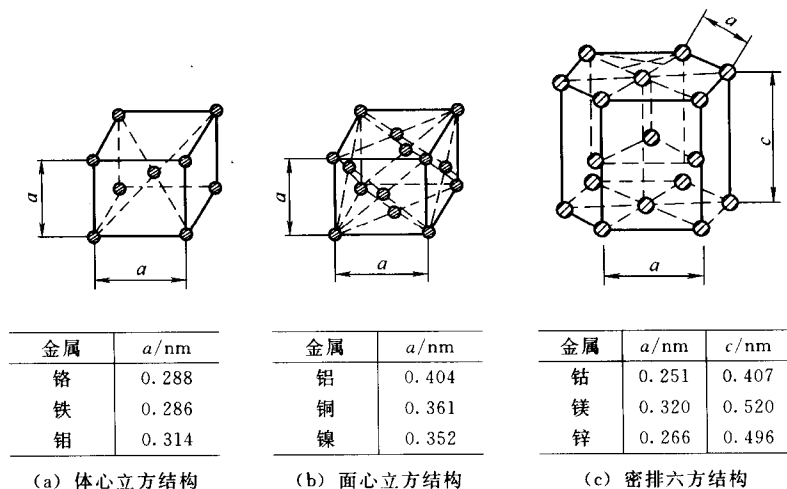
这些结构如图 1-1 所示，图中每一个点代表一个原子，在该结构中沿轴线

测得的原子间的距离被称作晶格常数或晶格参数。

如图 1-1 (a) 所示, 体心立方结构 (bcc) 在每一个虚构立方体的角部有一个原子, 在立方体的中心有一个原子 ($8+1$)。体心立方结构 (bcc) 一般产生特殊的金属, 此种金属具有延展性。体心立方金属有铬、 α 钢和钼。

面心立方结构 (fcc) 如图 1-1 (b) 所示, 在虚构的立方体的角部有一个原子, 在立方体的面的中心有一个原子 ($8+6$)。具有面心立方结构的金属比较软, 并且在很大的温度范围内具有延展性。面心立方金属有铝、铜和镍。

密排六方结构 (hcp) 如图 1-1 (c) 所示, 在虚构的六棱柱的每一个角上有一个原子, 在六边形面的中心有一个原子, 在六边形面之间有三个原子, 这三个原子位于这些面的阴影区域内 ($12+2+3$)。这些金属如钴、镁和锌, 相对来说该类金属是易碎的。



(a) 体心立方结构

(b) 面心立方结构

(c) 密排六方结构

图 1-1 金属的晶体结构

在立方体结构中, 所有的三个垂直轴中参数有相同的尺寸。但是, 在密排六方结构中, 参数有不同的尺寸。

某一特定金属的性质很大程度上依赖于它的晶体结构。一些金属在不同的温度下可以以一种以上的晶体结构存在。比如, 钢和铁有体心立方 (bcc) 和面心立方 (fcc) 两种结构。其他的被称作同素异形金属的例子, 如钛 (hcp 和 bcc) 和铁 (bcc)。非常有趣的是铁在低于 900°C 时, 是体心立方结构, 而当温度在 $900\sim 1400^{\circ}\text{C}$ 之间时, 铁的结构就变为面心立方结构, 该结构只需要较少的能量就可以维持。超过 1400°C 以后, 铁又回复到它的原始结构。

不止一类的晶体结构的外观被认为是同素异形或者是多晶型, 就是说有很多形状。同素异形在金属热处理和焊接工艺中也是很重要的一个方面。