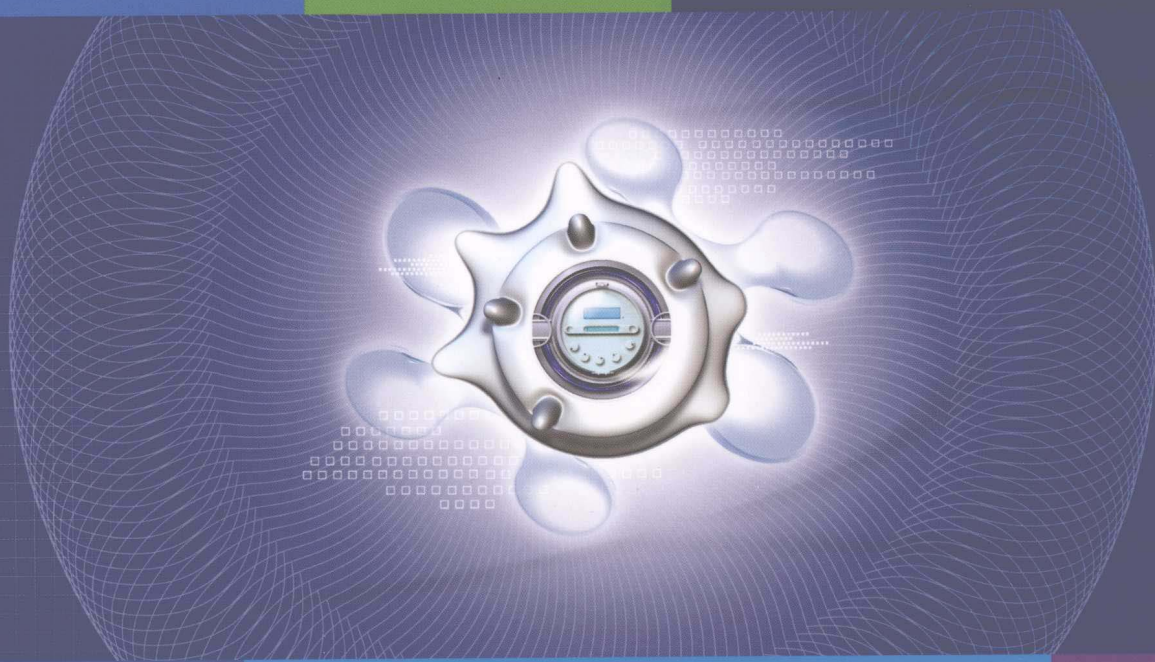


冲压成型技术

主 编 康俊远 副主编 徐勇军 杨小东 王 晖



 北京理工大学出版社
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

冲压成型技术

主 编 康俊远

副主编 徐勇军 杨小东 王 晖



北京理工大学出版社

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 简 介

该书主要讲述金属塑性成形的一些基本概念, 冲压工艺与冲压模具设计的分类与设计方法及冲压模具制造的一些基本方法和技术要求, 还包括弯曲及弯曲模具设计, 拉深工艺与拉深模具、成形。该书以技术应用为出发点, 理论性与实用性并重, 内容讲述通俗易懂, 由浅入深, 便于自学。

本书适用于高等专科学校、高等职业技术学院、工程技术学院及成人高校模具专业、机械专业使用, 亦可供从事模具设计和制造的工程技术人员和自学者使用。

版权专有 侵权必究

图书在版编目 (CIP) 数据

冲压成型技术/康俊远主编. —北京: 北京理工大学出版社, 2008. 3
ISBN 978-7-5640-1434-6

I. 冲… II. 康… III. 冲压—工艺 IV. TG38

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 015244 号

出版发行 / 北京理工大学出版社

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010) 68914775(办公室) 68944990(批销中心) 68911084(读者服务部)

网 址 / [http:// www. bitpress. com. cn](http://www.bitpress.com.cn)

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 北京国马印刷厂

开 本 / 787 毫米×960 毫米 1/16

印 张 / 16.75

字 数 / 342 千字

版 次 / 2008 年 3 月第 1 版 2008 年 3 月第 1 次印刷

印 数 / 1~6000 册

定 价 / 30.00 元

责任校对 / 陈玉梅

责任印制 / 吴皓云

图书出现印装质量问题, 本社负责调换

前 言

冲压技术是一门具有极高实用价值的基础技术,涉及机械、电子、航空、汽车、轻工等许多工业领域和生活中许多必需品,同时在新材料成形,微电子技术和通讯技术等方面也有广泛地应用。

《冲压成型技术》是为模具设计与制造专业、机械专业开设的一门专业主干课。本课程主要讲述有关金属塑性成形的一些基本概念,阐述冲压工艺与冲压模具设计的分类和设计的方法,同时讲述冲压模具制造的一些基本方法和技术要求。本课程的任务是使学生了解冲压工艺的主要应用、变形和受力特点;工艺路线的制定;掌握模具设计与制造的基本方法、技术要求和具体应用。本课程强调理论联系实际,加强实验和科技活动等实践环节,从而开拓学生的创造能力。

本书在编写时,以技术应用为出发点,做到理论少而精,重点突出应用能力的培养,实用性较强;内容讲述通俗易懂,由浅入深,便于自学。本书适用于高等专科学校、高等职业技术学院、工程技术学院及成人高校模具专业、机械专业使用,亦可供从事模具设计和制造的工程技术人员和自学者参考使用。

本教材由康俊远编写第1、2、3、4、6章;徐勇军编写第5章,另外其他人也做了许多工作,在此表示诚挚的感谢。康俊远任主编;徐勇军,杨小东,王晖任副主编,并参与审核。由于编者水平有限,书中难免还存在一些缺点和错误,殷切希望广大读者批评指正。

编 者

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 冲压加工及分类	1
1.2 冲压材料	5
1.3 冷冲压设备的选择	6
1.4 模具材料选用	9
第 2 章 冲压变形基础	11
2.1 冲压应力应变状态	11
2.2 材料的塑性、变形抗力及影响因素	14
2.3 常用材料的力学性能及其试验方法	15
第 3 章 冲裁工艺与模具设计	21
3.1 冲裁变形和质量分析	21
3.2 冲裁模具的间隙	27
3.3 凸模与凹模刃口尺寸的计算	32
3.4 冲裁力和压力中心的计算	39
3.5 冲裁件的排样设计	50
3.6 冲裁件的工艺性	56
3.7 冲裁模设计	60
3.8 冲裁模主要零部件结构设计	81
习题	112
第 4 章 弯曲及弯曲模具设计	114
4.1 弯曲变形过程及特点	114
4.2 弯曲件的回弹	116
4.3 弯曲件成形的工艺性设计	123
4.4 弯曲工艺方案的确定	133

思考与习题	145
第5章 拉深工艺与拉深模具	146
5.1 拉深过程分析	146
5.2 筒形件的拉深	152
5.3 筒形件在以后各次拉深时的特点及其方法	162
5.4 压边力与拉深力的计算	163
5.5 拉深模工作部分结构参数的确定	169
5.6 拉深模具的典型结构	177
5.7 其他形状零件的拉深特点	182
5.8 拉深工艺设计	196
5.9 拉深工艺的辅助工序	199
5.10 拉深模设计与制造实例	202
5.11 其他拉深方法	207
第6章 成形	213
6.1 起伏成形	213
6.2 翻边与翻孔	215
6.3 胀形	223
6.4 缩口	225
6.5 校平与整形	227
6.6 成形模具的典型结构	231
6.7 大型覆盖件的成形工艺及模具设计	236
习题	252
冲压成型技术课程大纲	254
参考文献	262

第1章 绪论

冷冲压加工是在室温下,利用安装在压力机上的模具对材料施加压力,使其产生分离或塑性变形,从而获得所需冲压件的一种压力加工方法。

冷冲模则是将材料加工成所需冲压件的一种工艺装备。冷冲模在实现冷冲压加工中是至关重要的,没有先进的冲模技术,就不能实现先进的冲压工艺。

冲压工艺及冲模设计与制造就是根据冲压零件的形状、尺寸精度及技术要求,制定冲压加工方案,设计冲压模具,并对模具零件进行加工,装配,试模、检验的全部过程。

1.1 冲压加工及分类

1.1.1 冲压加工的特点与应用

冲压生产靠模具和压力机完成加工过程,与其他加工方法相比,在技术和经济方面有如下特点:

优点:

- (1) 互换性好。
- (2) 可以获得其他加工方法所不能或难以制造的壁薄、质量轻、刚性好、表面质量高、形状复杂的零件。

(3) 既节能又省料。

(4) 效率高。

(5) 操作方便,要求的工人技术等级不高。

缺点:

(1) 噪声和振动大。

(2) 模具要求高、制造复杂、周期长、制造费用昂贵,因而小批量生产受到限制。

(3) 零件精度要求过高,冲压生产难以达到要求。

由于冲压工艺具有上述突出的特点,因此在国民经济各个领域得到了广泛应用。例如,航空航天、机械、电子信息、交通、兵器、家用电器及轻工等产业都应用冲压加工。

可用冲压制造钟表及仪器的小零件,也可制造汽车、拖拉机的大型覆盖件。冲压材料可使用黑色金属、有色金属以及某些非金属材料。

1.1.2 冲压工艺的分类

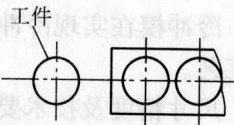
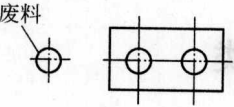
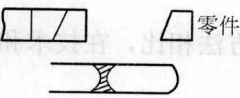
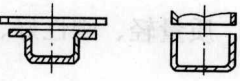
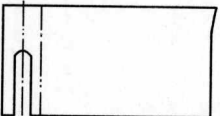
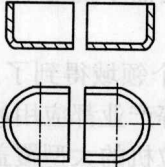
生产中为满足冲压零件形状、尺寸、精度、批量、原材料性能等方面的要求,采用多种

多样的冲压加工方法。概括起来冲压加工可以分为分离工序与成形工序两大类。

1. 分离工序

是在冲压过程中使冲压件与板料沿一定的轮廓线相互分离的工序。如表 1-1 所示。

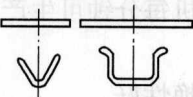
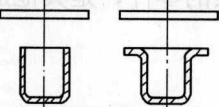
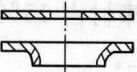
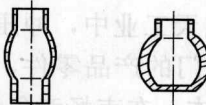
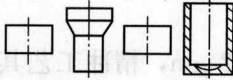
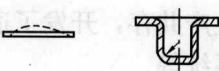
表 1-1 分离工序

工序名称	简 图	工序特征	应用范围
落料		用模具沿封闭轮廓冲切板料，冲下的部分为工件	用于制造各种形状的平板零件
冲孔		用模具沿封闭轮廓冲切板料，冲下的部分为废料	用于冲平板件或成形件上的孔
切断		用剪刀或模具切断板料，切断线不是封闭的	多用于加工形状简单的平板零件
切边		用模具将工件边缘多余的材料冲切下来	主要用于立体成形件
冲槽		在板料上或成形件上冲切出窄而长的槽	
剖切		把冲压加工成的半成品切开成为两个或数个零件	多用于不对称的成双或成组冲压之后

2. 成形工序

是毛坯在不被破坏的条件下产生塑性变形，形成所要求的形状和尺寸精度的制件。如表 1-2 所示。

表 1-2 成形工序

工序名称	简 图	工序特征
弯曲		用模具将板料弯曲成一定角度的零件, 或将已弯件再弯
拉深		用模具将板料压成任意形状的空心件, 或将空心件作进一步变形
翻边		用模具将板料上的孔或外缘翻成直壁
胀形		用模具对空心件施加向外的径向力, 使局部直径扩张
缩口		用模具对空心件口部施加由外向内的径向压力, 使局部直径缩小
挤压		把毛坯放在模腔内, 加压使其从模具空隙中挤出, 以成形空心或实心零件
卷圆		把板料端部卷成接近封闭的圆头, 用以加工类似铰链的零件
扩口		在空心毛坯或管状毛坯的某个部位上使其径向尺寸扩大的变形方法
校形		将工件不平的表面压平; 将已弯曲或拉深的工件压成正确的形状

1.1.3 冷冲压加工工序的特点

1. 冷冲压加工的特点

冷冲压生产靠压力机和模具完成加工过程, 与其他加工方法相比, 在技术与经济方面具

有下列特点：

- (1) 冷冲压是少、无切屑加工方法之一，所得的冲压件一般无需再加工。
- (2) 对于普通压力机每分钟可生产几十件，而高速压力机每分钟可生产千件以上，因此是一种高效率的加工方法。
- (3) 冲压件的尺寸精度由模具保证，所以质量稳定，互换性好。
- (4) 冷冲压可以加工壁薄、重量轻、刚性好、形状复杂的零件，是其他加工方法所不能代替的。

2. 冷冲压加工在生产中的地位

(1) 用途 由于冷冲压工艺具有上述突出的特点，因此在生产中得到了广泛的应用。

据统计，全世界钢材品种中带材占 50%，板材占 17%，棒材占 15%，型材占 9%，线材占 7%，管材占 2%。由此看出，大部分材料用于冷冲压加工。

在汽车、农机产品中，冲压件约占 75%~80%；在电子产品中冲压件约占 80%~85%，在轻工产品中，冲压件约占 90%以上，在航空、航天工业中，冲压件也占有较大的比例。因此，当前在机械、电子、轻工、国防等工业部门的产品零件，其成形方式已转向优先选用压力加工工艺，使得制件质优、低耗、低成本，在市场竞争中反应能力强、速度快。

(2) 加工范围 可加工各种类型的冲压件，尺寸小到钟表的秒针，大到汽车的纵梁、覆盖件，冲切厚度已达 20 mm 以上，所以加工尺寸幅度大，适应性强。

(3) 精度 对于一般冲裁件可达 IT 10~IT 11 级，精冲件可达 IT 6~IT 9 级。一般弯曲、拉深件精度可达到 IT 13~IT 14 级。

(4) 粗糙度 普通冲裁其粗糙度能够达到 $Ra12.5\sim3.2\ \mu\text{m}$ ，精冲工艺其产品粗糙度可达到 $Ra2.5\sim3.2\ \mu\text{m}$ 。

1.1.4 冲压及其模具技术发展

(1) 工艺分析计算现代化。

(2) 模具计算机辅助设计、制造与分析 (CAD/CAM/CAE) 一体化的研究和应用。

(3) 冲压生产自动化。

(4) 为适应市场经济的需求，大批量与多品种小批量生产共存，开发了适宜于小批量生产的各种简易模具、经济模具、标准化且容易变换的模具系统等。

(5) 推广和发展冲压新工艺和新技术。

(6) 与材料科学结合，不断改进板料性能，以提高冲压件的成形能力和使用效果。

(7) 开发新的模具材料。

1.2 冲压材料

1.2.1 冲压工艺对板料的基本要求

1. 机械性能的要求

机械性能的指标很多,其中尤以延伸率(δ)、屈强比 σ_s/σ_b 、弹性模数(E)、硬化指数(n)和厚向异性系数(r)影响较大。一般来说,延伸率大、屈强比小、弹性模数大、硬化指数高和厚向异性系数大有利于各种冲压成形工序。

2. 化学成分的要求

为了消除滑移线,可在拉深之前增加一道辊压工序,或采用加入铝和钒等脱氧的镇静钢,拉深时就不会出现时效现象。铝镇静钢 08Al 按其拉深质量分为 3 级:ZF(最复杂)用于拉深最复杂的零件,HF(很复杂)用于拉深很复杂的零件,F(复杂)用于拉深复杂零件。其他深拉深薄钢板按冲压性能分:Z(最深拉深)、S(深拉深)、P(普通拉深)3 级。

3. 金相组织的要求

由于对产品的强度要求与对材料成形性能的要求,材料可处于退火状态(或软状态)(M),也可处以淬火状态(C)或硬态(Y)。

4. 表面质量的要求

材料表面应光滑,无氧化皮、裂纹、划伤等缺陷。优质钢板表面质量分 3 组:I 组(高质量表面)、II 组(较高质量表面)、III 组(一般质量表面)。

5. 材料厚度公差的要求

厚度公差分:A(高级)、B(较高级)和 C(普通级)3 种。

1.2.2 板料的冲压成形性能及其与板料的力学性能的关系

1. 板料的冲压成形性能

板料对冲压成形工艺的适应能力称为板料的冲压成形性能。

板料的冲压成形性能,包括抗破裂性、贴模性和定形性等几个方面。

2. 板料力学性能与板料冲压性能的关系

(1) 屈服极限 σ_s 屈服极限 σ_s 小,材料容易屈服,则变形抗力小。

(2) 屈强比 σ_s/σ_b 屈强比小,即 σ_s 值小而 σ_b 值大,容易产生塑性变形而不易产生拉裂。

(3) 伸长率 δ 一般地说,伸长率或均匀伸长率是影响翻孔或扩孔成形性能的主要原因。

(4) 硬化指数 n 单向拉伸硬化曲线可写成 $\sigma = K\epsilon^n$, 其中指数 n 即为硬化指数, 表示在塑性变形中材料的硬化程度。 n 大说明在变形中材料加工硬化严重。

1.2.3 常用冲压材料与力学性能

冲压最常用的材料是金属板料, 有时也用非金属板料。金属板料分黑色金属和有色金属两种。

1. 黑色金属板料按性质可分

- (1) 普通碳素钢钢板;
- (2) 优质碳素结构钢钢板;
- (3) 低合金结构钢板;
- (4) 电工硅钢板;
- (5) 不锈钢板。

2. 有色金属

铜及铜合金 (如黄铜) 等;
铝及铝合金。

3. 冲压用非金属材料

胶木板、橡胶、塑料板等。

1.2.4 常用冲压材料的规格

板料: 常见规格由 $710 \times 1\,420$ 和 $1\,000 \times 2\,000$ 等。

纹向平行于长度方向。用剪板机剪成各种不同纹向和宽度的条料使用。
带料 (卷料)。

纹向平行于长度方向。可以用滚剪机剪成要求的宽度使用, 也可以用剪板机剪成各种不同纹向和宽度的条料使用。

1.3 冷冲压设备的选择

冲压设备的选择包括类型和规格选择两项内容。

1.3.1 冲压设备类型的选择

冲压设备类型的选择主要是根据冲压工艺特点和生产率、安全操作等因素来确定的。

在中小型冲压件生产中, 主要选用开式压力机;

在需要变形力大的冲压工序 (如冷挤压等), 应选择刚性好的闭式压力机;

对于校平、整形和温、热挤压工序, 最好选用摩擦压力机;

对于薄材料的冲裁工序,最好选用导向准确的精密压力机;

对于大型拉深的冲压工序,最好选用双动拉深压力机;

在大量生产中应选用高速压力机或多工位自动压力机;

对于不允许冲模导套离开导柱的冲压工作,最好选择行程可调的曲拐轴式压力机。

1.3.2 冲压设备规格的选择

1. 公称压力(吨位)的确定

公称压力(额定压力)是指滑块离下死点前某一特定距离 S_P 或特定角度 α_P 时,滑块上所允许承受的最大作用力。

在选择压力机吨位时,对于施力行程小于压力机的公称压力行程的冲压工序(如冲裁、浅拉深等),只要使冲压所需工艺力的总和不超过公称压力即可。

但是,目前生产中使用的国产压力机,由于种种原因,其公称压力行程数值不符合国家标准,甚至没有给出这一重要技术参数,因此,在选择压力机时,必须使冲压工艺力曲线不超过压力机的许用压力曲线。

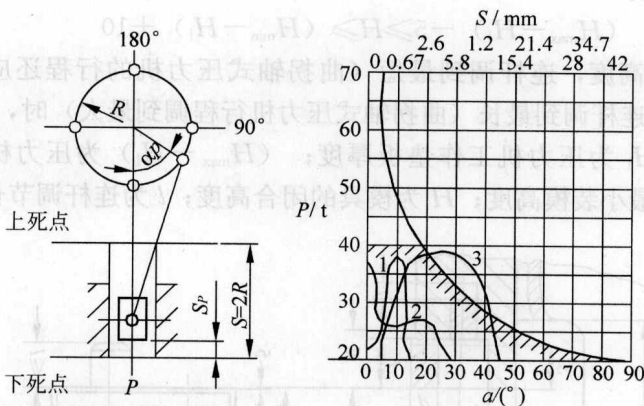


图 1-1 J23-40 型开式压力机压力曲线图

在使用中,为了简便起见,对于施力行程很小(如冲孔、落料等)冲压工序,可直接选用公称压力大于冲压所需工艺力总和的压力机。对于施力行程较大的(如深拉深、深弯曲等)冲压工序,应按照冲压所需工艺力总和小于或等于压力机公称压力的 50%~60% 的条件来选择压力机。

2. 滑块行程的选择

滑块行程是指曲柄旋转一周,下死点至死点的距离,其值为曲柄半径 R 的两倍,即 $S=2R$ (图 1-1)。滑块行程大小应保证方便毛坯的放入和零件的取出。对于上出件的拉深

等冲压工序，滑块行程大于零件高度的两倍。

3. 行程次数的选择

行程次数是指滑块每分钟往复运动的次数，它主要根据所需生产率、操作的可能性和允许的变形速度等来确定。

4. 工作台面尺寸的选择

工作台面（或工作垫板）尺寸一般应大于模具底座各边 50~70 mm。

其孔眼尺寸应大于工件或废料尺寸，以便漏料；对于有弹顶装置的模具，工作台孔眼尺寸还应大于下弹顶器的外形尺寸。

5. 闭合高度的选择

压力机的闭合高度是指滑块在下死点位置时，滑块下端面到工作台上表面的距离。闭合高度减去垫板厚度的差值，称压力机的装模高度。没有垫板的压力机，其装模高度与闭合高度相等。

模具的闭合高度是指工作行程终了时，模具上模座顶面到下模座底面之间的距离。

选择压力机时，最好使模具的闭合高度介于压力机的最大装模高度与最小装模高度之间（图 1-2），一般应满足：

$$(H_{\max} - H_1) - 5 \geq H \geq (H_{\min} - H_1) + 10$$

式中， $H_{\max}$ 为最大闭合高度，连杆调到最短（曲拐轴式压力机的行程还应调到最小）时； $H_{\min}$ 为最小闭合高度，连杆调到最长（曲拐轴式压力机行程调到最大）时，压力机的闭合高度， $H_{\min} = H_{\max} - 1$ ； H_1 为压力机工作垫板厚度； $(H_{\max} - H_1)$ 为压力机最大装模高度； $(H_{\min} - H_1)$ 为压力机最小装模高度； H 为模具的闭合高度； l 为连杆调节长度。

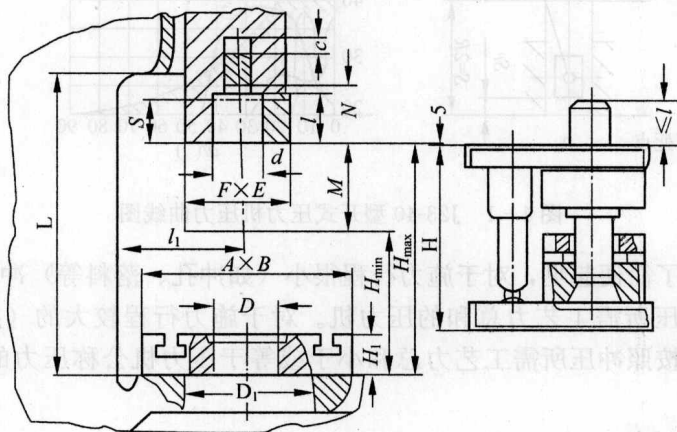


图 1-2 模具与压力机的相关尺寸

6. 电动机功率的选择

在某些情况下（如大型件的斜刃冲裁、深度很大的变薄拉深等），必须对压力机的电机功率进行校核，并选择电机的功率大于冲压所需功率的压力机。

1.4 模具材料选用

1.4.1 冲压对模具材料的要求

不同冲压方法，其模具类型不同，模具工作条件有差异，对模具材料的要求也有所不同，表1-3是不同模具工作条件及对模具零件材料的性能要求。

表1-3 模具工作条件及对模具工作零件材料的性能要求

模具类型	工作条件	模具工作零件材料的性能要求
冲裁模	主要用于各种板料的冲切成形，其刃口在工作过程中受到强烈的摩擦和冲击	具有高的耐磨性、冲击韧性以及抗疲劳断裂性能
弯曲模	主要用于板料的弯曲成形，工作负荷不大，但有一定的摩擦	具有高的耐磨性和断裂抗力
拉深模	主要用于板料的拉深成形，工作应力不大，但凹模入口处承受强烈的摩擦	具有高的硬度及耐磨性，凹模工作表面粗糙度值比较低

1.4.2 冲模材料的选用原则

模具材料的选用，不仅关系到模具的使用寿命，也直接影响到模具的制造成本。选择模具材料应遵循如下原则：

- （1）满足使用要求，应具有较高的强度、硬度、耐磨性、耐冲击性、抗疲劳性等；
- （2）根据冲压材料和冲压件生产批量选用材料；
- （3）模具材料应具有良好的加工工艺性能，便于切削加工，淬透性好、热处理变形小；
- （4）满足经济性要求。

1.4.3 冲模常见材料及热处理要求

模具材料的种类很多，应用也极为广泛。冲压模具所用材料主要有碳钢、合金钢、铸铁、铸钢、硬质合金钢、钢基硬质合金以及锌基合金、低熔点合金、环氧树脂、聚氨酯橡胶等。冲压模具中凸、凹模等工作零件所用的材料主要是模具钢，常用的模具钢包括碳素钢、合金工具钢、轴承钢、高速工具钢、基体钢、硬质合金和钢基硬质合金等（可参见 GB/T 699—1999、GB/T 1298—1986、GB/T 1299—2000、JB/T 5826—1991、JB/T 5825—1981、JB/T 5827—1991 等）。模具材料的选用见表1-4。

表 1-4 模具材料的选用

零件名称		材 料	热处理硬度 HRC	
			凸模	凹模
冲裁模的凸模、凹模、凸凹模及其镶块	$t \leq 3$ mm, 形状简单	T10A、9Mn2V	58~60	60~62
	$t \leq 3$ mm, 形状复杂	CrWMn、Cr12、Cr12MoV、Cr6WV	58~60	60~62
	$t > 3$ mm, 高强度材料冲裁	Cr6WV、CrWMn、9CrSi、 65Cr4W3Mo2VNb (65Nb)	54~56 56~58	56~58 58~60
	硅钢板冲裁	Cr12MoV、Cr4W2MoV CT35、CT33、TLMW50 YG15、YG20	60~62 66~68	61~63 66~68
	特大批量 ($t \leq 2$ mm)	CT35、CT33、TLMW50 YG15、YG20	66~68	66~68
	细长凸模	T10A、CrWV 9Mn2V、Cr12、Cr12MoV	56~60, 尾部回火 40~50 59~62, 尾部回火 40~50	
	精密冲裁	Cr12MoV、W18Cr4V	58~60	62~64
	大型模镶块	T10A、9Mn2V Cr12MoV	58~60 60~62	
	加热冲裁	3Cr2W8、5CrNiMo6Cr4Mo 3Ni2WV (GG-2)	48~52 51~53	
	棒料高速剪切	6CrW2Si	55~58	
上、下模座		HT400、ZG310-570、Q235、45	(45) 调质 28~32	
模柄 (普通模柄) (浮动模柄)		Q235 45	43~48	
导柱、导套 (滑动) (滚动)		20 GCr15	(渗碳) 56~62 62~66	
固定板、卸料板、推件板、顶板、侧压板、始用挡块		45	43~48	

第2章 冲压变形基础

2.1 冲压应力应变状态

2.1.1 应力状态

冲压变形是由冲压设备提供变形载荷,然后通过模具对毛坯施加外力,进而转化为毛坯的内力、使之产生塑性变形。因此,研究和分析金属的塑性变形过程,应首先了解毛坯内力作用和塑性变形之间的关系。

在一般情况下,变形毛坯内各质点的变形和受力状态是不相同的(如图2-1)。一点的应力状态可用一个平行六面体(单元体)来表示,将各应力分量均表示在前3个可视面(即 x 面、 y 面、 z 面)上,每个面上有一个正应力、两个剪应力,共9个应力分量,再考虑剪应力的互等性($\tau_{xy}=\tau_{yx}$, $\tau_{yz}=\tau_{zy}$, $\tau_{zx}=\tau_{xz}$),则仅有6个独立的应力分量;正应力分量方向的含义是,箭头指向平行六面体之外,符号为正,为拉应力;反之,符号为负,为压应力。对同一点应力状态,6个应力分量的大小与所选坐标有关,不同坐标系所表现的6个应力分量的数值是不同的,存在这样一个(仅有一个)坐标系,按该坐标系做平行六面体,则应力分量只有3个正应力分量,而无剪应力分量,那么称这3个正应力为主应力,称该坐标系为主坐标系,3个坐标轴为主应力轴。

如果用主坐标系表示质点的应力状态,单元体上仅承受拉应力或压应力,则可将主应力状态分为如图2-2所示的9种类型。图中,第一行为单向应力状态,单向拉和单向压;第

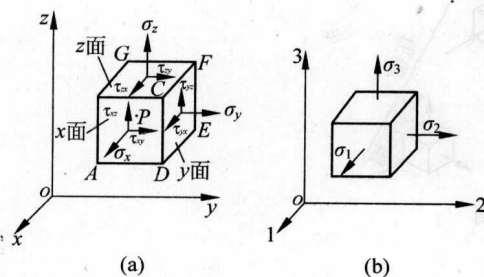


图2-1 质点的应力状态

(a) 任意坐标系; (b) 主坐标系

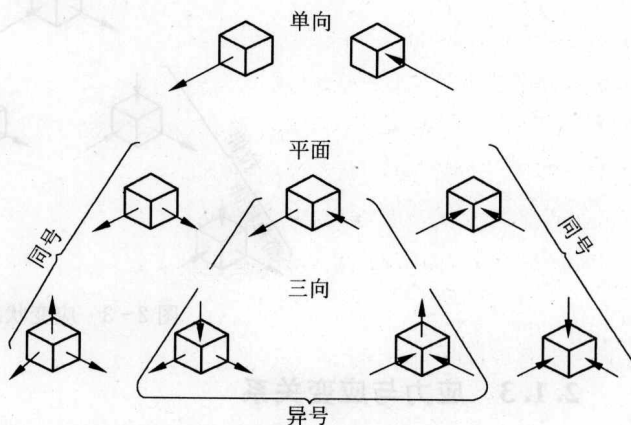


图2-2 主应力状态图