

新世纪高职高专课程与实训系列教材

冷冲压工艺与 模具设计

王金龙 主编

佟玉斌 张信群 张振扬 赖 辉 副主编



- 面向实用型技能人才培养
- 案例导向型的内容设置
- 立体化的教材体系

赠送
电子课件

清华大学出版社



新世纪高职高专课程与实训系列教材

冷冲压工艺与模具设计

王金龙 主 编

佟玉斌 张信群 张振扬 赖 辉 副主编

清华大学出版社

北 京

内 容 简 介

本书根据全国高等职业技术教育机电教材编委会的要求,以及高职高专应用型人才培养的目标,按照高职高专模具设计和制造专业的基本要求,吸取了现代职业教育教学改革的最新成果,结合编者多年从事专业教学和生产实践的经验编写而成。

全书内容共分6章,包括冷冲压概论、冲裁工艺与模具设计、弯曲工艺与模具设计、拉深工艺与模具设计、成形工艺与模具设计和冷挤压工艺与模具设计简介等。另外,本书各章前均指出重点和难点内容,各章后均附有习题与练习,以利于学生牢固掌握书中所介绍的知识。

本书是高等职业技术学院机械制造、模具设计、数控加工和机电一体化等专业的教学用书,也可供从事机械制造、模具设计、数控加工和机电一体化等工作的工程技术人员参考使用。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13501256678 13801310933

图书在版编目(CIP)数据

冷冲压工艺与模具设计/王金龙主编;佟玉斌,张信群,张振扬,赖辉副主编.—北京:清华大学出版社,2007.8

(新世纪高职高专课程与实训系列教材)

ISBN 978-7-302-15745-8

I.冷… II.①王… ②佟… ③张… ④张… ⑤赖… III.①冷冲压—工艺—高等学校:技术学校—教材 ②冷冲模—设计—高等学校:技术学校—教材 IV.TG38

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第108180号

责任编辑:王景先 宋延清

封面设计:山鹰工作室

版式设计:北京东方人华科技有限公司

责任校对:马素伟

责任印制:何 芊

出版发行:清华大学出版社 地 址:北京清华大学学研大厦A座

<http://www.tup.com.cn> 邮 编:100084

c-service@tup.tsinghua.edu.cn

社总机:010-62770175 邮购热线:010-62786544

投稿咨询:010-62772015 客户服务:010-62776969

印刷者:北京市昌平环球印刷厂

装订者:三河市兴旺装订有限公司

经 销:全国新华书店

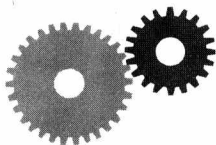
开 本:185×260 印张:19.5 字数:468千字

版 次:2007年8月第1版 印 次:2007年8月第1次印刷

印 数:1~4000

定 价:28.00元

本书如存在文字不清、漏印、缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请与清华大学出版社出版部联系调换。联系电话:(010)62770177 转 3103 产品编号:021350-01



前 言

根据全国高等职业技术教育机电教材编委会的要求,以及高职高专应用型人才培养的目标,按照高职高专模具设计与制造专业的基本要求,吸收了现代职业教育教学改革的最新成果,结合编者多年从事专业教学和生产实践的经验,编写了这本面向 21 世纪高职高专的“冷冲压工艺与模具设计”教材。

本课程的参考学时为 60~80 学时,其主要内容包括冷冲压概论、冲裁工艺与冲裁模具设计、弯曲工艺与弯曲模具设计、拉深工艺与拉深模具设计、其他成形工艺与模具设计和冷挤压工艺与模具设计简介等。在讲述冲压成形基本理论的基础上,结合典型案例讲述冲压工艺与模具设计,同时,选编了较多的实例进行分析,供读者参考。

在高等职业教育的教学体系中,“冷冲压工艺与模具设计”课程是模具设计与制造专业的一门重要的专业课,具有较强的综合性和实用性。通过本课程的学习,可以培养学生掌握冷冲压工艺编排和冷冲模设计的基本知识、基本理论和基本方法,使学生具备冷冲压工艺编排的能力和中等难度的冷冲模具设计的能力。本书以应用为目标,按高等职业教育的特点和要求来安排教学内容,对一般理论,以“必需、够用”为度,着重讲述冲裁、弯曲、拉深等模具的设计方法和设计步骤,选用一些较为简单的例题,以方便教师的讲解和学生的掌握,降低了学习难度,突出了高等职业教育的实用性和针对性。与一般同类教材相比,本书知识体系相对完整,有助于培养学生分析问题和解决问题的能力。

本书具有下列特点。

1. 编排符合认知规律

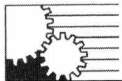
本书力求将基本知识、基本理论及基本方法叙述清楚。对于问题的研究一般从分析着手,提出结构,然后再简要地介绍设计理论和方法。这样更加符合认知规律,更能启发学生思考,提高解决问题的能力。

2. 教学目标清晰

鉴于现在大部分高职院校三年制学生分别开设有工程力学、金属材料及热处理、液压传动等课程,为保证知识的相对完整性,避免知识的相互交叉,本书没有编入以上各科内容,这有别于目前的许多同类图书。

3. 注重工程实践能力的培养

本书突出专业课的特点,把冲压工艺与模具设计融为一体来讲述,通过冷冲压工艺的阐述为学生设计冷冲模打好基础,强化模具设计方法和步骤,同时综合运用已学过的课程知识,使学生获得设计具有一定难度的冷冲模的能力。



4. 体现高职教育特色

本书在保证讲透基本理论的前提下,尽量减少篇幅,力求贯彻少而精的原则,突出了实用性和针对性,体现出高职教育的特色。

5. 采用最新国家标准

本书之中的标准和规范等均采用最新的国家标准;符号基本上采用国际通用符号,少数用汉语拼音字母。

本书是高等职业技术学院机械制造、模具设计、数控加工和机电一体化等专业的教学用书,也可供从事机械制造、模具设计、数控加工和机电一体化等工作的工程技术人员参考使用。

本书由广东茂名职业技术学院王金龙副教授任主编,由清华大学精密仪器系潘尚峰副教授主审。王金龙编写绪论和第4章;广西机电职业技术学院张振扬编写第1章;山东烟台职业学院佟玉斌副教授编写第2章;安徽滁州职业技术学院张信群副教授编写第3章;广东茂名职业技术学院赖辉编写第5章和第6章。

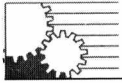
在编写过程中,得到兄弟院校有关老师和工厂技术人员的大力支持和帮助,在此表示诚挚的谢意。

由于编者水平所限,书中不当之处在所难免,望读者批评指正。

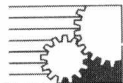
编者

目 录

| | | | |
|------------------------|----|-------------------------|-----|
| 第 1 章 冷冲压概论 | 1 | 2.1.1 冲裁变形过程 | 39 |
| 1.1 冷冲压基本工序及模具 | 1 | 2.1.2 冲裁断面特征 | 40 |
| 1.1.1 冲压概念 | 1 | 2.2 冲裁间隙 | 41 |
| 1.1.2 冲压工艺分类及模具 | 1 | 2.2.1 冲裁间隙对冲裁件断面 | |
| 1.2 冲压变形的理论基础 | 5 | 质量的影响 | 41 |
| 1.2.1 金属塑性变形的概念 | 5 | 2.2.2 冲裁间隙对冲裁件尺寸 | |
| 1.2.2 影响塑性及变形抗力的 | | 精度的影响 | 42 |
| 主要因素 | 6 | 2.2.3 冲裁间隙对冲裁力、卸料力、 | |
| 1.2.3 成分与组织对金属塑性 | | 推料力、顶件力的影响 | 43 |
| 变形的影响 | 7 | 2.2.4 冲裁间隙对模具寿命 | |
| 1.2.4 变形温度对金属塑性 | | 的影响 | 43 |
| 变形的影响 | 8 | 2.2.5 合理间隙值的确定 | 44 |
| 1.2.5 变形速度对金属塑性 | | 2.3 冲裁模刃口尺寸计算 | 47 |
| 变形的影响 | 9 | 2.3.1 凸、凹模刃口尺寸 | |
| 1.2.6 应力应变状态及其对金 | | 计算原则 | 47 |
| 属塑性变形的影响 | 9 | 2.3.2 凸、凹模刃口尺寸的计算 | 48 |
| 1.3 冲压材料 | 14 | 2.4 冲压力及压力中心计算 | 54 |
| 1.3.1 材料的冲压成形性能 | 14 | 2.4.1 冲压力计算 | 54 |
| 1.3.2 板料的冲压成形 | | 2.4.2 压力中心计算 | 56 |
| 性能试验 | 15 | 2.5 冲裁件的工艺性 | 57 |
| 1.3.3 对冲压材料的基本要求 | 19 | 2.6 排样 | 60 |
| 1.4 冲压设备 | 25 | 2.6.1 冲裁排样 | 60 |
| 1.4.1 曲柄压力机的用途 | | 2.6.2 搭边值和条料宽度 | |
| 和分类 | 25 | 的确定 | 62 |
| 1.4.2 曲柄压力机的工作原理 | | 2.6.3 材料利用率的计算 | 66 |
| 与结构组成 | 28 | 2.7 精密冲裁 | 66 |
| 1.4.3 曲柄压力机的主要 | | 2.8 模具设计 | 69 |
| 技术参数 | 30 | 2.8.1 工艺方案的确定 | 69 |
| 1.4.4 曲柄压力机的型号 | 34 | 2.8.2 模具类型的确定 | 70 |
| 习题与练习 | 36 | 2.8.3 模具主要零部件的设计 | 80 |
| 第 2 章 冲裁工艺与模具设计 | 38 | 2.9 冲裁模的设计步骤 | 102 |
| 2.1 冲裁变形过程分析 | 38 | 2.10 冲裁模设计实训 | 104 |
| | | 2.10.1 实训(一) | 104 |



| | | | |
|------------------------------|-----|----------------------------------|-----|
| 2.10.2 实训(二)..... | 109 | 第 4 章 拉深工艺与模具设计 | 178 |
| 习题与练习 | 118 | 4.1 拉深变形过程分析..... | 179 |
| 第 3 章 弯曲工艺与模具设计 | 125 | 4.1.1 拉深变形过程..... | 179 |
| 3.1 概述..... | 126 | 4.1.2 拉深过程中的应力 应变状态..... | 181 |
| 3.2 弯曲变形过程分析..... | 126 | 4.1.3 拉深过程中的力学分析..... | 182 |
| 3.2.1 弯曲的变形过程..... | 126 | 4.1.4 拉深中的起皱与破裂..... | 183 |
| 3.2.2 板料弯曲的塑性 变形特点..... | 128 | 4.2 一般旋转体的拉深..... | 185 |
| 3.2.3 弯曲变形区的应力 应变状态..... | 129 | 4.2.1 毛坯尺寸的计算..... | 185 |
| 3.2.4 弯曲变形程度及其 表示法..... | 131 | 4.2.2 拉深系数与拉深次数..... | 188 |
| 3.2.5 最小弯曲半径..... | 132 | 4.2.3 圆筒形件的工序尺寸计算..... | 193 |
| 3.3 弯曲件卸载后的回弹..... | 135 | 4.2.4 圆筒形件拉深工序底部 形状的确定..... | 198 |
| 3.3.1 回弹现象..... | 135 | 4.2.5 圆筒形件拉深力的计算..... | 199 |
| 3.3.2 影响回弹的因素..... | 136 | 4.2.6 圆筒形件拉深模工作 部分的尺寸设计..... | 200 |
| 3.3.3 回弹值的确定..... | 138 | 4.3 其他旋转体件的拉深..... | 203 |
| 3.3.4 减少回弹值的措施..... | 140 | 4.3.1 阶梯圆筒件的拉深..... | 203 |
| 3.4 弯曲件坯料尺寸的计算..... | 143 | 4.3.2 非直壁类旋转体件 的拉深..... | 204 |
| 3.4.1 弯曲中性层位置的确定..... | 143 | 4.4 盒形件拉深..... | 206 |
| 3.4.2 弯曲件坯料尺寸的计算..... | 144 | 4.4.1 盒形件拉深的特点..... | 206 |
| 3.5 弯曲力的计算..... | 145 | 4.4.2 盒形(包括正方形)件 毛坯尺寸的确定..... | 206 |
| 3.5.1 自由弯曲时的弯曲力..... | 146 | 4.4.3 盒形件多次拉深工艺计算..... | 206 |
| 3.5.2 校正弯曲时的弯曲力..... | 146 | 4.5 其他拉深方法..... | 208 |
| 3.5.3 顶件力或压料力..... | 147 | 4.5.1 弹性介质拉深..... | 209 |
| 3.5.4 压力机公称压力 的确定..... | 147 | 4.5.2 液压拉深..... | 209 |
| 3.6 弯曲件的工艺性..... | 147 | 4.5.3 凸缘加热拉深..... | 209 |
| 3.6.1 弯曲件的精度..... | 147 | 4.5.4 毛坯壁部局部冷却拉深..... | 210 |
| 3.6.2 弯曲件的材料..... | 149 | 4.5.5 带料连续拉深..... | 210 |
| 3.6.3 弯曲件的结构工艺性..... | 149 | 4.5.6 变薄拉深..... | 211 |
| 3.6.4 弯曲件的工序安排..... | 152 | 4.6 拉深中的辅助工序..... | 212 |
| 3.7 弯曲模具的设计..... | 153 | 4.6.1 润滑..... | 212 |
| 3.7.1 弯曲模的典型结构..... | 153 | 4.6.2 热处理..... | 212 |
| 3.7.2 弯曲模工作部分的 尺寸设计..... | 162 | 4.7 拉深模设计实训..... | 213 |
| 3.8 弯曲模设计实训..... | 166 | 4.7.1 实训(一)..... | 213 |
| 习题与练习..... | 173 | 4.7.2 实训(二)..... | 218 |
| | | 习题与练习..... | 230 |



| | | | |
|----------------------------|-----|---------------------|-----|
| 第5章 成形工艺与模具设计 | 236 | 5.6.2 变薄旋压..... | 275 |
| 5.1 胀形..... | 236 | 5.7 设计实训..... | 278 |
| 5.1.1 胀形的成形条件..... | 237 | 习题与练习..... | 282 |
| 5.1.2 胀形的变形特点..... | 238 | 第6章 冷挤压工艺与模具 | |
| 5.1.3 胀形的变形极限..... | 238 | 设计简介 | 285 |
| 5.1.4 空心管状毛坯的胀形..... | 239 | 6.1 冷挤压的主要特点..... | 287 |
| 5.1.5 起伏成形..... | 243 | 6.2 冷挤压工艺的分类..... | 287 |
| 5.2 翻边..... | 246 | 6.3 冷挤压的变形分析..... | 289 |
| 5.2.1 翻边的种类..... | 246 | 6.3.1 冷挤压的应力与 | |
| 5.2.2 圆孔翻边(翻孔)..... | 247 | 应变状态..... | 289 |
| 5.2.3 非圆孔的内孔翻边..... | 251 | 6.3.2 冷挤压的变形程度..... | 291 |
| 5.2.4 平面外缘翻边..... | 252 | 6.4 冷挤压材料..... | 292 |
| 5.2.5 变薄翻边..... | 254 | 6.4.1 常用冷挤压材料..... | 292 |
| 5.2.6 曲面外缘翻边..... | 255 | 6.4.2 冷挤压工艺对毛坯的 | |
| 5.2.7 翻边模典型结构..... | 258 | 质量要求..... | 293 |
| 5.3 缩口与扩口..... | 259 | 6.4.3 冷挤压毛坯的准备..... | 293 |
| 5.3.1 缩口..... | 260 | 6.5 冷挤压件的结构工艺性..... | 295 |
| 5.3.2 扩口..... | 266 | 6.6 冷挤压力..... | 296 |
| 5.4 校平与整形..... | 267 | 6.6.1 影响挤压力的 | |
| 5.4.1 校平..... | 267 | 主要因素..... | 296 |
| 5.4.2 整形..... | 269 | 6.6.2 冷挤压力的确定和 | |
| 5.5 压印..... | 270 | 压力机的选择..... | 298 |
| 5.6 旋压..... | 271 | 6.7 冷挤压模具..... | 298 |
| 5.6.1 普通旋压..... | 271 | 参考文献 | 301 |

第 1 章

冷冲压概论

📖 教学目标:

冷冲压是金属材料塑性变形的过程,不同的冲压产品要用不同的冲压工序来完成,不同的冲压工序其变形机理和变形过程也各不相同;冲压变形过程又受到材料本质和各种外部因素的影响;冲压材料品种繁多,性能各异,正确选择冲压材料是进行模具设计时需要考虑的一项重要内容;冲压设备主要是各种吨位和结构形式的压力机,在模具设计过程中还要考虑压力机的选择。

通过本章的学习,要求读者了解各种不同的冲压工序和金属塑性变形的基本原理,掌握常用冲压材料的性能,能够合理地选择冲压材料和冲压设备。

📌 教学重点和难点:

冲压变形的基本理论,冲压过程的影响因素,常用冲压材料和冲压设备的选择。

1.1 冷冲压基本工序及模具

1.1.1 冲压概念

冲压是利用冲模在冲压设备上对板料施加压力,使其产生分离或变形,从而获得一定形状、尺寸和性能的制件的加工方法。冲压加工的对象一般为金属板料(或带料)、薄壁管、薄型材等,板厚方向的变形一般不侧重考虑,因此也称为板料冲压,且通常是在室温状态下进行,所以也称为冷冲压。

1.1.2 冲压工艺分类及模具

由于冲压加工的零件种类繁多,各类零件的形状、尺寸和精度要求又各不相同,因而生产中采用的冲压工艺方法也是多种多样的。概括起来,可分为分离工序和成形工序两大类:

- 分离工序是指使坯料沿一定的轮廓线分离而获得一定形状、尺寸和断面质量的冲压件的工序。
- 成形工序是指使坯料在不破裂的条件下产生塑性变形而获得一定形状和尺寸的冲压件的工序。

每种基本工序还包含有多种单一工序。冲压工序的具体分类及特点见表 1-1 和表 1-2。

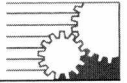


表 1-1 冲压工艺中的分离工序

| 工序名称 | 简 图 | 特点及应用范围 |
|------|-----|---|
| 落料 | | 用冲模沿封闭轮廓曲线冲切，冲下的部分是零件，用于制造各种形状的平板零件 |
| 冲孔 | | 用冲模按封闭轮廓曲线冲切，冲下的部分是废料 |
| 切断 | | 用剪刀或冲模沿不封闭曲线切断，多用于加工形状简单的平板零件 |
| 切边 | | 将成形零件的边缘修切整齐或切成一定形状 |
| 剖切 | | 把冲压加工成的制件切开成为两个或数个零件，多用于不对称零件的成双或成组冲压成形之后 |

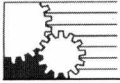
表 1-2 冲压工艺中的成形工序

| 工序名称 | 简 图 | 特点及应用范围 |
|------|-----|-----------------------------|
| 弯曲 | | 把板材沿着直线弯成各种形状，可以加工各种形状复杂的零件 |
| 卷圆 | | 把板材端部卷成接近封闭的圆头，用以加工类似铰链的零件 |
| 扭曲 | | 把冲裁后的半成品扭转成一定的角度 |
| 拉深 | | 把板材毛坯用成形方法制成各种空心的零件 |

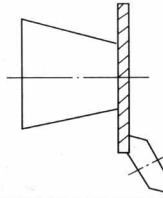
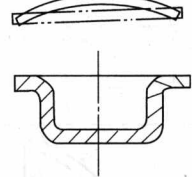


续表

| 工序名称 | 简 图 | 特点及应用范围 |
|------|-----|----------------------------------|
| 变薄拉深 | | 把拉深加工后的空心半成品进一步加工成为底部厚度大于侧壁厚度的零件 |
| 翻孔 | | 在预先冲孔的板材半成品上或未经冲孔的板料上冲制成竖立的边缘 |
| 翻边 | | 把板材半成品的边缘按曲线或圆弧成形, 成为竖立的边缘 |
| 拉弯 | | 在拉力与弯矩共同作用下实现弯曲变形, 可以获得精度较好的零件 |
| 胀形 | | 在双向拉应力作用下实现的变形, 可以形成各种空间曲面形状的零件 |
| 起伏 | | 在板材毛坯或零件的表面上用局部成型的方法制成各种形状的突起或凹陷 |
| 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 |
| 缩口 | | 在空心毛坯或管状毛坯的某个部位上使其径向尺寸缩小的变形方法 |



续表

| 工序名称 | 简图 | 特点及应用范围 |
|--------|---|---------------------------------|
| 旋压 |  | 在旋转状态下用辊轮使毛坯逐步成形的方法 |
| 校形(整形) |  | 为了提高已成形零件的尺寸精度或获得小的圆角半径而采用的成形方法 |

在实际生产中,当冲压件的生产批量较大、尺寸较小而公差要求较小时,若用分散的单一工序来冲压是不经济的,甚至难以达到要求。这时在工艺上多采用工序集中的方案,即把两种或两种以上的单一工序集中在一副模具内完成,称为组合工序。根据工序组合的方法不同,又可将其分为复合、级进和“复合-级进”3种组合方式。

- 复合冲压:在压力机的一次工作行程中,在模具的同一工位上同时完成两种或两种以上不同单一工序的一种组合方式。
- 级进冲压:在压力机的一次工作行程中,按照一定的顺序在同一模具的不同工位上完成两种或两种以上不同单一工序的一种组合方式。
- 复合-级进冲压:在一副冲模上包含复合和级进两种方式的组合工序。

冲模的结构类型也很多(见图 1-1)。通常按工序性质可分为冲裁模、弯曲模、拉深模和成形模等;按工序的组合方式可分为单工序模、复合模和级进模等。但不论何种类型的冲模,都可看成是由上模和下模两部分组成。上模被紧固在压力机滑块上,可随滑块作上下往复运动,是冲模的活动部分;下模被固定在压力机工作台或垫板上,是冲模的固定部分。工作时,坯料在下模面上通过定位零件定位,压力机滑块带动上模下压,在模具工作零件的作用下坯料便产生分离或塑性变形,从而获得所需形状及尺寸的冲件。上模回升时,由模具的卸料与出件装置将冲件或废料从凸、凹模上卸下或推、顶出来,以便进行下一次冲压。

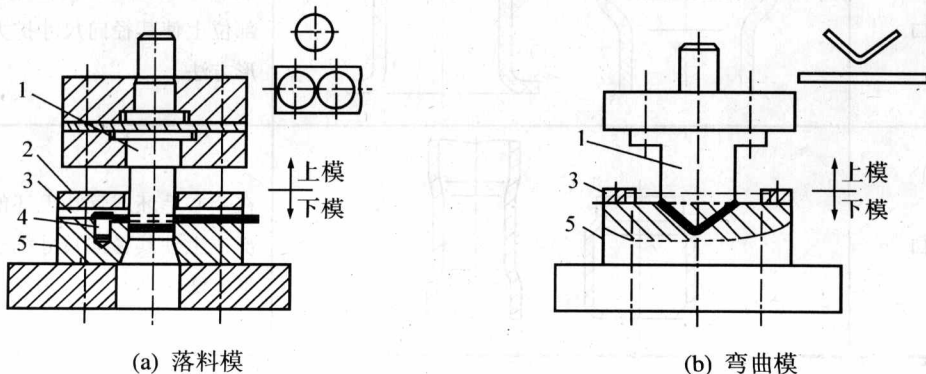


图 1-1 几种常见模具的结构简图

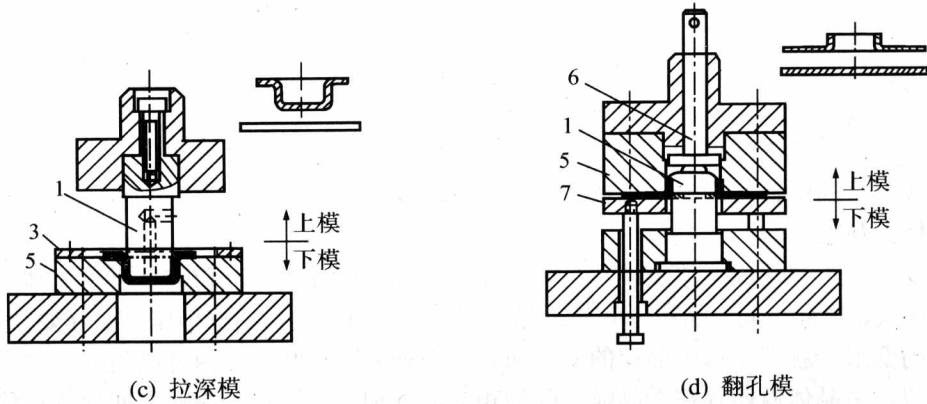
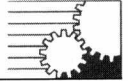


图 1-1 (续)

1—凸模；2—卸料板；3—定位销；4—挡料销；5—凹模；6—打杆；7—压料板

1.2 冲压变形的理论基础

1.2.1 金属塑性变形的概念

在外力作用下，固体材料发生形状和尺寸变化的现象称为变形，使物体产生变形的外力称为变形力。变形力去除后，能恢复原状的变形称为弹性变形；变形力去除后，不能恢复原状的变形称为塑性变形。金属材料在变形力的作用下，既能产生弹性变形，又能将弹性变形发展到塑性变形，是一种具有弹塑性的工程材料。从微观结构上看，在弹性变形阶段，金属体受力较小，金属体内部原子的间距有微小的改变，从而引起了尺寸和形状的变化，变形力去除后，原子回到原来的稳定平衡位置，该金属体就完全恢复了原来的形状和尺寸。当金属体受力较大时，会迫使原子偏离原来的稳定平衡位置，而达到邻近的稳定平衡位置，变形力去除后，原子就不再回到其原来位置，而是停留在邻近的稳定平衡位置上，因而变形就成为不可恢复的永久变形，这就是金属的塑性变形。

金属学研究成果表明，所有的固态金属都是晶体，各种固态金属的晶体结构并不完全相同。在工业应用的金属中，除少数具有复杂的晶体结构外，最常见的金属晶体结构有面心立方结构、体心立方结构和密排六方结构3种。

晶体中由原子组成的平面称为晶面，由原子组成的直线称为晶向，每种不同晶格晶面上的原子密度和不同晶向的原子间距是不同的。单晶体的塑性变形主要通过滑移和孪生两种方式进行，最常见的方式为滑移，即晶体一部分沿一定的晶面和晶向相对于另一部分产生滑移，这一晶面和晶向称为滑移面和滑移方向。一般来说，滑移面总是原子排列最密的面，滑移方向总是原子排列最密的方向。因为沿着原子分布最密的面和方向，滑移阻力最小。一种滑移面及其面上的一个滑移方向组成一个滑移系。每一个滑移系表示晶体在产生滑移时可能采取的空间位向。当其他条件相同时，金属晶体的滑移系越多，则滑移时可能出现的滑移位向就越多，塑性就越好。一般来说，面心立方和体心立方金属的滑移系较多，因此比密排六方金属的塑性好。



就理想的晶体结构而言,全部原子都是规则地排列在晶体的格点上,然而实际晶体总是存在着各种缺陷,引起晶格的畸变以及原子排列的不规则,最明显的是多晶体。这些缺陷包括位错、晶界、空位、间隙原子和异质原子等。研究表明,有些缺陷对金属塑性变形有很大的影响,如晶体的滑移变形就是在剪应力的作用下通过滑移面上的位错运动进行的。一个位错移到晶体表面形成一个原子间距的滑移量。同一个滑移面上许多位错移到晶体表面便形成明显的滑移线。许多滑移线在一起形成滑移带。这种滑移带常可在拉深变形后的金属试样上观察到。

工业上用于塑性成形的金属都是多晶体,组成多晶体的各晶粒类似于单晶体,它们的大小、形状、位向不同,晶粒之间又有晶界相连,因而多晶体的变形比单晶体要复杂得多。多晶体的变形,就其中每个晶粒的变形而言,不外乎滑移和孪生两种晶内变形方式。但就总体而言,多晶体内还存在着晶粒之间的相对滑动和转动。这种晶粒之间的变形称为晶间变形,所以多晶体的变形是晶内变形和晶间变形综合作用的结果。

由于晶粒是靠原子间的吸引力和晶粒间的机械连锁力互相联结的,因此,晶间变形比较困难。晶粒间的滑动即使非常微小,也容易引起晶界处的结构破损,从而导致金属的断裂。晶粒间的转动过程相当复杂,这是由于多晶体中不同位向的各个晶粒既有向有利于晶内滑移的方向转动的趋势,又受到相互牵制的缘故。晶粒转动的现象在粗晶粒的板料冲压成形后可以观察到,这就是冲压件表面显出凹凸不平的所谓“橘皮”现象。

多晶体的塑性变形还受到晶界的影响。晶界内晶格畸变更甚,晶界的存在使多晶体的强度、硬度比单晶体高。多晶体内晶粒越细,晶界区所占比率也就越大,金属的强度、硬度也就越高。此外,晶粒越细,变形越容易分散在许多晶粒内进行,因此变形更为均匀,不易造成应力集中而导致金属破坏,这就是一般的细晶粒金属不仅强度、硬度高,而且塑性也较好的原因。

在金属塑性变形过程中,金属的性能和组织都可能发生变化。其中最重要的是加工硬化,随着变形程度的增加,变形阻力增大,强度和硬度升高,而塑性、韧性下降。同时,由于变形不均匀,晶粒内部和晶粒之间会存在不同的内应力。变形后作为残余应力,保留在金属内部,致使经冷变形后的零件在放置一段时间后,可能自动发生变形甚至开裂。金属塑性变形后的性能变化是其组织发生变化的结果。多晶体变形时各晶粒沿其变形最大方向伸长,在变形程度很大时,则显著伸长,使得晶界过剩相沿主变形方向呈条状分布,成为热处理也改变不了的纤维组织。晶内变形会使晶粒破碎,形成许多小晶粒,即亚晶粒。晶间变形则在晶界造成许多破坏。另外,在变形程度很大时,多晶体内各个晶粒的位向会因滑移面的转向而逐渐趋向一致,形成变形织构。由于变形织构的形成,使轧制后的板料出现各向异性,即使退火,一般也难以消除。用这种材料经冲压变形得到的制件厚薄不均,口沿不齐,典型表现是在拉深成形的筒形制件口部形成凸耳。由此可见,金属塑性变形过程中的这些变化对冲压成形工艺有相当大的影响。

1.2.2 影响塑性及变形抗力的主要因素

1. 塑性

所谓塑性,是指金属材料在外力作用下产生永久变形而其完整性不被破坏的能力。塑



性指标可用材料在不被破坏的条件下能获得的塑性变形的最大值来评定。对于同一种材料来说,在不同的变形条件下,其塑性是不一样的。

影响金属塑性的因素包括两个方面:①金属本身的晶格类型、化学成分和金相组织等;②变形时的外部条件,如变形温度、变形速度以及变形方式等。

2. 变形抗力

变形抗力一般来说反映了金属在外力作用下抵抗塑性变形的能力。

影响变形抗力的因素,也包括金属的内部性质和变形条件(即变形温度、变形速度和变形程度)两个方面。

塑性和变形抗力是两个不同的概念。通常说某种材料的塑性好坏是指受力以后临近破坏时的变形程度的大小,而不是指变形抗力的大小。如奥氏体不锈钢允许的变形程度大,称为塑性好,但其变形抗力也大,需要较大的外力才能产生塑性变形。由此可见,变形抗力是从力的角度来反映塑性变形的难易程度。

1.2.3 成分与组织对金属塑性变形的影响

成分与组织对金属塑性变形的影响很大,下面以钢为例来说明。

1. 化学成分的影响

在碳钢中,Fe和C是基本元素。在合金钢中,除了Fe和C以外,还包含有Si、Mn、Cr、Ni、W等合金元素。此外,在各类钢中还含有一些杂质,如P、S、N、H、O等。

(1) 碳钢中C和杂质元素的影响

对碳钢的性能影响最大的是C元素。C能固溶于Fe,形成铁素体和奥氏体固溶体,它们都具有良好的塑性。当C的含量超过Fe的溶C能力时,多余的C便与Fe形成硬而脆的渗碳体,从而使碳钢的塑性降低,变形抗力提高。含C量越高,碳钢的塑性越差。宜于拉深成形的低碳钢一般含C量为0.05%~0.15%。

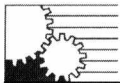
杂质元素对钢的塑性变形一般都有不利影响,如P溶入铁素体后,使钢的强度、硬度显著提高,塑性、韧性显著降低,在低温时,造成钢的冷脆性。又如S在钢中几乎不溶解,而与铁形成脆性的硫化铁,使钢的塑性降低。热加工时,钢的热脆现象也是由S引起的。因此,应对冷冲压材料的杂质含量加以控制。如对于深拉深冷轧薄钢板就应按照国家标准(GB 710)加以控制,S的含量不超过0.040%,P的含量控制更加严格。

(2) 合金元素对钢的塑性变形的影响

将合金元素加入钢中,不仅会改变钢的使用性能,而且会改变钢的塑性成形性能。主要表现为:塑性降低,变形抗力提高。这是由于合金元素与钢中的C形成硬而脆的碳化物,使钢的强度提高,塑性降低。另外,很多元素溶入固溶体(铁素体和奥氏体)中,致使Fe原子的晶格发生不同程度的畸变,从而使钢的变形抗力提高,塑性降低。

2. 组织的影响

金属材料的组织状态与其化学成分有密切关系,但并不是完全由化学成分所决定,它



还与制造工艺(如冶炼、浇铸、锻轧、热处理)有关。由于以上原因,金属材料的组织很不相同,除了基体金属的晶体结构存在不同以外,还有晶粒的大小以及单相组织和多相组织的差别等。这些组织上的差异对材料的塑性和变形抗力的影响也不能忽视。

从组织状态对塑性的影响来看,基体为面心立方晶格(Al、Cu、 γ -Fe、Ni)的塑性最好;体心立方晶格(α -Fe、Cr、W、Mo)塑性次之;密排六方晶格(Mg、Zn、 α -Ti)塑性较差。

另外,晶粒的细化有利于提高金属的塑性,但也使其变形抗力提高。从冲压成形角度来看,晶粒度过小和过大都不利,等轴的或饼状的6级晶粒度比较理想。

单相组织要比多相组织塑性好,变形抗力小。这是由于合金为多相组织时,各相性能往往存在很大的差别,使变形不均匀,塑性降低。若硬而脆的第二相呈网状分布于塑性相的晶界上,则整体塑性会大大下降。若硬而脆的第二相呈弥散质点均匀分布于基体相晶粒内,则会阻碍晶内滑移变形,显著提高变形能力。

1.2.4 变形温度对金属塑性变形的影响

变形温度对金属的塑性变形有很大的影响。就大多数金属而言,其总的趋势是:随着温度的升高,塑性增加,变形抗力降低。其主要原因如下。

(1) 随着温度的升高,会发生回复与再结晶。回复使变形金属得到一定程度的软化,再结晶则完全消除了加工硬化效应,使金属的塑性显著提高,变形抗力显著降低。

(2) 温度升高,临界剪应力降低,滑移系增加。由于温度升高,原子的热运动加强,原子间的结合力变弱,使临界剪应力降低。同时,在高温时还可能出现新的滑移系。多晶滑移系的增加,大大提高了金属的塑性。

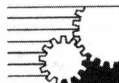
(3) 新的塑性变形方式——热塑性的产生。温度升高时,原子的热运动加剧,晶格中的原子处于一种不稳定的状态。此时,若晶体受到外力的作用,原子就会沿着应力梯度方向由一个平衡位置转移到另一个平衡位置(并不是沿着一定的晶面和晶向),使金属产生塑性变形,这种塑性变形方式称为热塑性。热塑性不同于滑移和孪生,它是金属在高温下塑性变形时新增加的一种变形方式,因而降低了变形抗力,增加了塑性。温度越高,热塑性就越大。但温度低于回复温度时,热塑性的作用不显著。

(4) 温度升高导致晶界的切变抗力显著降低,晶界易于滑动;又由于扩散作用的加强,及时消除了晶界滑动所引起的微裂纹。这一切使得金属在高温下具有良好的塑性和低的变形抗力。

在板料成形中,必要时可对板料加热,增加变形程度,降低变形抗力,提高制件的成形准确度。但往往会对制件表面造成不利的影晌。

值得指出的是,金属加热软化的趋势并不是绝对的。在加热过程的某些温度区间,往往由于过剩相的析出或相变等原因出现脆性区,使金属的塑性降低和变形抗力增加。如碳钢加热到200~400℃之间时,因为时效作用(夹杂物以沉淀的形式在晶界滑移面上析出)使塑性降低,变形抗力增加,这个温度范围称为蓝脆区。这时钢的性能变坏,易于脆断,断口呈蓝色。在800~950℃范围内,又会出现热脆,使塑性降低。因此,选择变形温度时,碳钢应避免蓝脆区和热脆区。

总之,为了提高材料的变形程度,减小变形力,在决定变形温度时,必须根据材料的



“温度-力学性能”曲线合理选用，充分考虑加热对材料产生的不利影响(如晶间腐蚀、氢脆、氧化、脱碳等)，避免盲目性。

1.2.5 变形速度对金属塑性变形的影响

所谓变形速度是指单位时间内应变的变化量，金属的变形速度在很大程度上是随塑性成形设备的加载速度而变化的。变形速度对塑性变形的影响是多方面的。

一方面，在高速情况下，要同时驱使更多的位错更快地运动，使金属晶体的临界剪应力升高，变形抗力增加；同时，由于多晶体的塑性变形机理复杂，塑性变形的扩展，需要一定的时间，难以在瞬间完成，这也使得金属的变形抗力增加，塑性降低。

另一方面，由于变形速度大，变形体吸收的变形能迅即转化为热能，使变形体温度升高，这种温度效应一般来说有使金属软化的效果。

这两方面的影响在高速变形条件下，又随金属的种类和变形温度的不同有所变化，情况十分复杂，需要具体问题具体分析。

目前，常规冲压使用的压力机工作速度较低，对金属塑性变形性能的影响不大，而考虑速度因素，主要基于零件的尺寸和形状。对于小零件的冲压工序，可不必考虑速度因素；但对于大型复杂零件的成形，宜用低速。因为大尺寸复杂零件成形时，各部分的变形极不均匀，易于局部拉裂和起皱，为了便于塑性变形的扩展，有利于金属的流动，以采用低速压力机或液压机为宜。

另外，对于不锈钢、耐热合金、钛合金等对变形速度比较敏感的材料，也宜低速成形，加载速度可控制在 0.25m/s 以下。

1.2.6 应力应变状态及其对金属塑性变形的影响

1. 塑性变形时的应力应变状态

冲压成形时，外力通过模具作用于毛坯，使之产生塑性变形，同时在毛坯内部引起反抗变形的内力。在一般情况下，毛坯变形区内各处的应力和应变都不尽相同。为了了解毛坯的变形规律，就必须研究坯料内各点的应力状态和应变状态以及它们之间的关系。

(1) 点的应力状态

模具对材料施加的外力引起材料内产生内力，一极小面积上的内力 ΔF 与内力作用面积 ΔA 比值的极限称为全应力 S 。

$$S = \lim_{\Delta F \rightarrow 0} \frac{\Delta F}{\Delta A} = \frac{dF}{dA} \quad (1-1)$$

全应力 S 可以分解成两个分量，垂直于作用面的叫做正应力，用 σ 表示；平行于作用面的叫做剪应力，用 τ 表示。

坯料内每一点上的受力情况，通常称为点的应力状态。一点的应力状态是通过在该点周围截取的微小六面体——单元体上各个互相垂直面上的应力来表示的，一般可沿坐标方向将这些应力分解成 9 个应力分量，即 3 个正应力和 6 个剪应力，如图 1-2(a)所示。但是，