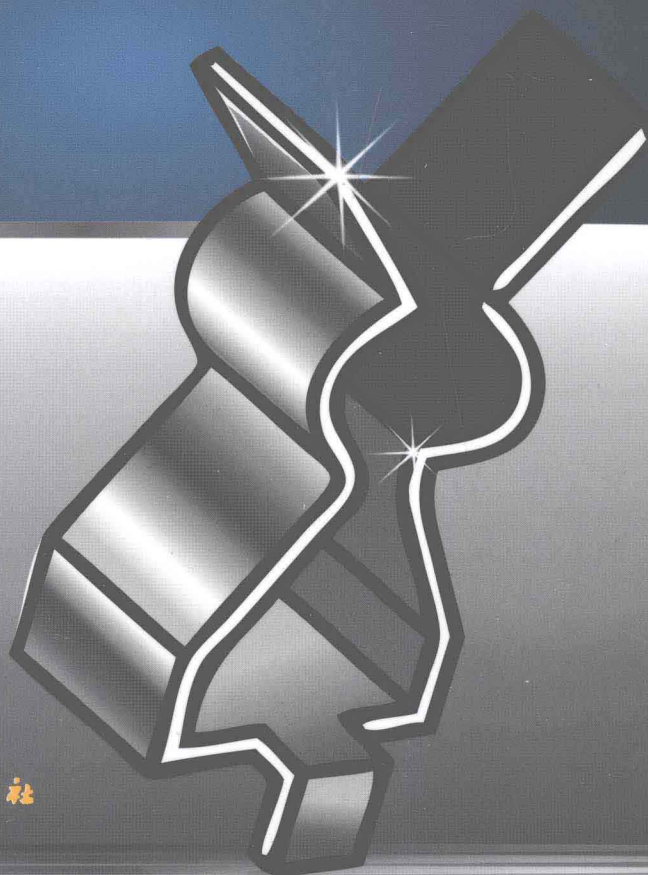
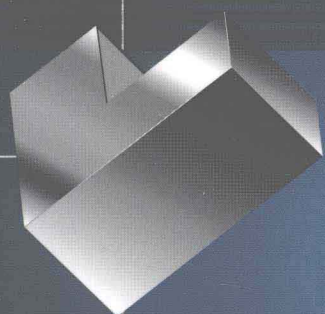


CHONGYAJIAN  
SHENGCHAN ZHINAN

# 冲压件 生产指南

秦松祥 主编

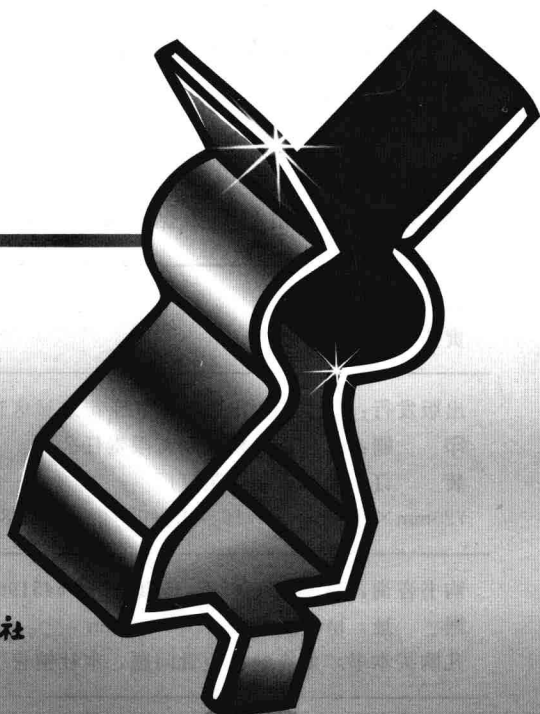
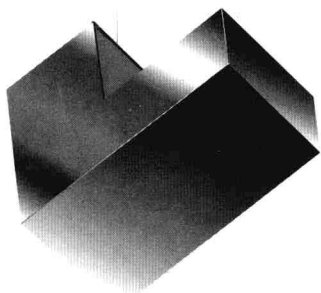


化学工业出版社

CHONGYAJIAN  
SHENGCHAN ZHINAN

# 冲压件 生产指南

秦松祥 主编



化学工业出版社

· 北京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

冲压件生产指南/秦松祥主编. —北京: 化学工业出版社,  
2008.8

ISBN 978-7-122-03478-6

I. 冲… II. 秦… III. 冷冲压-工艺-指南 IV. TG38-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 116412 号

---

责任编辑: 刘丽宏

文字编辑: 张绪瑞

责任校对: 陈 静

装帧设计: 韩 飞

---

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 刷: 北京市彩桥印刷有限责任公司

装 订: 北京市顺板装订厂

720mm×1000mm 1/16 印张 19¼ 字数 385 千字 2009 年 1 月北京第 1 版第 1 次印刷

---

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

---

定 价: 46.00 元

版权所有 违者必究



## 序

冲压是金属塑性加工的一种基本方法。采用冲压工艺过程生产各种板料零件，具有生产率高、尺寸精度好、重量轻、成本低并易于实现机械化和自动化等特点。因此，冲压在现代汽车、拖拉机、电机、电器、电子仪表、日用生活用品、航天、航空以及国防工业等各个部门中均占有越来越重要的地位。

随着科学技术的不断发展，加工技术不断深化，加工精度日益提高，近年来，模具制造也得到了长足的发展，我国模具制造行业的产值已超过机床工业。有关冲压方面的问题愈来愈为人们所关注。国内出版的有关冲压方面的书籍不少，如有些出版社出版了不少关于冲压模具的“技术手册”、“计算手册”、“设计手册”等，但大多偏重于技术。

江苏泰州职业技术学院的秦松祥教授积多年来从事生产实践和课堂教学的经验，在掌握了大量资料的基础上，编写了这本指导生产实践的《冲压件生产指南》。

本书主要是为了满足广大工作在冲压生产一线的技术工人、技术人员、车间班组领导的需要，用于指导现场生产。本书写作层次分明，谋篇布局合理，不但适合自学，也能供本科和专科院校材料加工专业教学参考。

本书内容丰富，除了介绍一般冲压知识以外，还介绍了其他冲压书籍中所缺乏或不太丰富的内容。例如关于冲压模具的修理与管理，质量控制与管理，现场工艺过程管理，生产成本和工艺的定额管理以及冲压生产安全技术等。这些内容对于优化产品品质，提高劳动生产率和降低生产成本等都可以起到立竿见影的效果。

愿《冲压件生产指南》一书能顺利出版，愿读者喜欢这本书。

胡亚民

# 前言



冷冲压是现代制造技术的一个重要组成部分,具有少无切削加工、节约材料、节省能源、加工成本低廉、产品一致性好等优点,在工业生产各领域得到了广泛的应用。但是冷冲件的生产具有较高的技术含量,需要从业者掌握其生产技术。

就目前来说,有关冷冲压工艺与模具设计的图书较多,而在冷冲压工艺与模具设计的基础上,结合冷冲压件的包装、储放与毛坯定尺管理、生产现场工艺管理、冷冲压模的维修与管理、冷冲压的生产成本与工时定额管理、冷冲压件的质量控制与管理等方面内容的冷冲压生产指南类图书较少。事实上,有关冷冲压工艺与模具设计的图书比较适合作为大专院校冲压专业的教科书以及冲压工厂的相关技术人员使用。但冲压生产中仅有技术人员掌握冲压生产技术是不够的,只有当与冲压生产有关的所有从业人员都掌握和了解冲压生产的相关知识,才可能使冲压生产过程趋于完美。

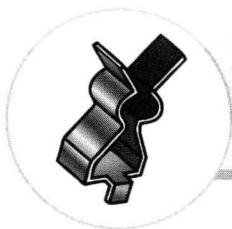
本书以通俗易懂的文字和丰富的图表,简要介绍了冷冲压成型的基础理论知识,较全面地介绍了各类冲压成形规律、成形工艺设计与模具设计方法,首次讲述了冷冲压件的包装、储放与毛坯定尺管理知识。作为生产指南类图书,还较为详细地介绍了生产现场工艺管理、冷冲压模的维修与管理、冷冲压的生产成本与工时定额管理、冷冲压件的质量控制与管理、冲压生产安全技术等方面的知识。

本书可作为从事冷冲压件生产的技术设计与管理人员、生产组织与管理人员、生产操作与模具维修人员、质量管理人员的工具书,也可作为高等职业技术学院、高等工程专科学校和部分成人高等学校的模具设计和制造专业以及其他机械、机电类等相关专业的教材或参考书。

全书由泰州职业技术学院秦松祥主编,李卫民、杨金娥参编,重庆工学院胡亚民教授主审。秦松祥编写第1章、第2章、第6~11章;李卫民编写第3章、第4章;杨金娥编写第5章。

由于编者水平有限,不足之处难免,敬请读者批评指正。

编著者



# 目录

## 第1章 冲压件生产基础

|                             |   |                         |    |
|-----------------------------|---|-------------------------|----|
| 1.1 冲压变形的理论基础 .....         | 1 | 1.2 冲压成形技术概述 .....      | 11 |
| 1.1.1 塑性变形的基本概念 .....       | 1 | 1.2.1 冲压与冲模的概念 .....    | 11 |
| 1.1.2 塑性变形对金属组织和性能的影响 ..... | 2 | 1.2.2 冲压工序的分类 .....     | 11 |
| 1.1.3 塑性力学基础 .....          | 2 | 1.2.3 冲压模具分类 .....      | 11 |
| 1.1.4 金属塑性变形的基本规律 .....     | 5 | 1.2.4 冲模设计与制造要求 .....   | 12 |
| 1.1.5 冲压材料及其冲压成形性能 .....    | 8 | 1.2.5 冲压设备及其选用 .....    | 12 |
|                             |   | 1.2.6 模具的安装 .....       | 17 |
|                             |   | 1.2.7 冲压技术现状与发展方向 ..... | 17 |

## 第2章 冲裁件的生产

|                            |    |                            |    |
|----------------------------|----|----------------------------|----|
| 2.1 冲裁件结构工艺性分析 .....       | 19 | 2.2.3 冲裁模的结构设计 .....       | 32 |
| 2.1.1 冲裁工艺性对结构设计的要求 .....  | 19 | 2.2.4 冲裁模零部件设计 .....       | 37 |
| 2.1.2 冲裁件的尺寸精度和表面粗糙度 ..... | 21 | 2.3 冲裁件的工艺设计 .....         | 57 |
| 2.1.3 冲裁件的尺寸标注 .....       | 22 | 2.3.1 冲裁件的排样设计 .....       | 57 |
| 2.2 冲裁模的设计要领 .....         | 23 | 2.3.2 冲裁件的冲裁力、压力中心计算 ..... | 64 |
| 2.2.1 冲裁模间隙设计 .....        | 23 | 2.4 冲裁件常见的质量缺陷与控制方法 .....  | 70 |
| 2.2.2 冲裁模刃口尺寸的确定 .....     | 27 |                            |    |

## 第3章 弯曲件的生产

|                             |    |                        |     |
|-----------------------------|----|------------------------|-----|
| 3.1 弯曲变形分析 .....            | 73 | 精度 .....               | 84  |
| 3.1.1 弯曲变形过程及特点 .....       | 73 | 3.3 弯曲件的设计要领 .....     | 85  |
| 3.1.2 弯曲变形时的应力与应变 .....     | 74 | 3.3.1 弯曲件的最小弯曲半径 ..... | 85  |
| 3.2 弯曲件的结构工艺性分析 .....       | 75 | 3.3.2 弯曲的回弹及对策 .....   | 87  |
| 3.2.1 弯曲件的工艺性对结构设计的要求 ..... | 75 | 3.3.3 弯曲模工作尺寸计算 .....  | 93  |
| 3.2.2 弯曲件的展开尺寸计算 .....      | 78 | 3.3.4 弯曲模的结构设计 .....   | 96  |
| 3.2.3 弯曲件的材料选择与尺寸 .....     |    | 3.4 弯曲件的工艺设计 .....     | 110 |
|                             |    | 3.4.1 弯曲力的计算 .....     | 110 |

# 目 录



|                      |     |                               |     |
|----------------------|-----|-------------------------------|-----|
| 3.4.2 弯曲设备的选择 .....  | 111 | 3.5.1 弯曲件的常见缺陷及解决<br>办法 ..... | 122 |
| 3.4.3 弯曲件的工序安排 ..... | 112 | 3.5.2 提高弯曲件质量的要点 .....        | 128 |
| 3.4.4 编制弯曲工艺规程 ..... | 113 | 3.6 弯曲件生产实例分析 .....           | 129 |
| 3.5 弯曲件的生产质量控制 ..... | 122 |                               |     |

## 第 4 章 拉深件的生产

|                                  |     |                                |     |
|----------------------------------|-----|--------------------------------|-----|
| 4.1 拉深变形过程分析 .....               | 134 | 4.3.1 拉深件的拉深系数及其<br>确定方法 ..... | 145 |
| 4.1.1 拉深变形过程及特点 .....            | 134 | 4.3.2 拉深模的结构设计 .....           | 162 |
| 4.1.2 拉深过程中坯料内的应力<br>与应变状态 ..... | 135 | 4.4 拉深件的工艺设计 .....             | 168 |
| 4.2 拉深件的结构工艺性分析 .....            | 136 | 4.4.1 拉深力的计算 .....             | 168 |
| 4.2.1 拉深工艺对结构设计的<br>要求 .....     | 136 | 4.4.2 压料力的确定 .....             | 168 |
| 4.2.2 拉深件的毛坯计算 .....             | 140 | 4.4.3 拉深压力机标称压力的<br>确定 .....   | 169 |
| 4.2.3 拉深件的材料选择与尺寸<br>精度 .....    | 143 | 4.4.4 拉深件的工序安排 .....           | 169 |
| 4.3 拉深件的设计要求 .....               | 145 | 4.4.5 编制工艺规程 .....             | 174 |
|                                  |     | 4.5 拉深件的质量控制 .....             | 186 |

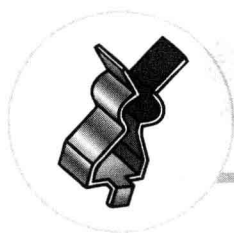
## 第 5 章 其他冷冲压件的生产

|                      |     |                                  |     |
|----------------------|-----|----------------------------------|-----|
| 5.1 翻边件的生产 .....     | 190 | 5.3.1 旋压件的生产 .....               | 204 |
| 5.1.1 内孔翻边件的生产 ..... | 190 | 5.3.2 整形件的生产 .....               | 208 |
| 5.1.2 外缘翻边件的生产 ..... | 192 | 5.4 大型覆盖件的成形 .....               | 210 |
| 5.1.3 变薄翻边件的生产 ..... | 193 | 5.4.1 大型覆盖件冲压成形工艺<br>设计原则 .....  | 210 |
| 5.2 胀形件与缩口件的生产 ..... | 195 | 5.4.2 大型覆盖件冲压成形工艺<br>参数的确定 ..... | 211 |
| 5.2.1 胀形件的生产 .....   | 195 |                                  |     |
| 5.2.2 缩口件的生产 .....   | 200 |                                  |     |
| 5.3 旋压与整形件的生产 .....  | 204 |                                  |     |

## 第 6 章 冷冲压件的毛坯定尺管理、储放与包装

|                       |     |                   |     |
|-----------------------|-----|-------------------|-----|
| 6.1 冷冲压件的毛坯定尺管理 ..... | 217 | 6.3 冷冲压件的包装 ..... | 219 |
| 6.2 冷冲压件的储放 .....     | 218 |                   |     |





# 目录

## 第 7 章 冷冲模的使用、维护与修理

|                             |     |                            |     |
|-----------------------------|-----|----------------------------|-----|
| 7.1 冷冲压模具的安装、使用、维护与保管 ..... | 221 | 7.2.3 冲模修理的实施过程 .....      | 229 |
| 7.1.1 冷冲模的安装要求 .....        | 221 | 7.2.4 冲模修理用备件的准备 .....     | 230 |
| 7.1.2 冲模使用与维护要求 .....       | 222 | 7.2.5 冲模主要零件修配要点 .....     | 230 |
| 7.1.3 冲模的保管要求 .....         | 224 | 7.2.6 冲模修理后的检查 .....       | 234 |
| 7.2 冷冲压模具的修理 .....          | 225 | 7.2.7 冲模修理工作的组织 .....      | 235 |
| 7.2.1 冲模修理的原因 .....         | 225 | 7.2.8 冷冲模允许修理的次数及刃磨量 ..... | 235 |
| 7.2.2 冲模修理的时机 .....         | 229 | 7.3 对冲压工和模具修理工的要求 .....    | 236 |

## 第 8 章 冲压件质量控制与管理

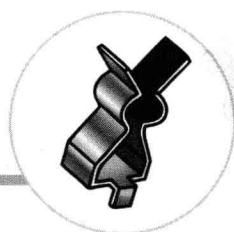
|                           |     |                                                               |     |
|---------------------------|-----|---------------------------------------------------------------|-----|
| 8.1 冲压件的常见质量问题与控制措施 ..... | 238 | 8.4 冲压件的质量管理与分析方法 .....                                       | 248 |
| 8.2 冲压件的质量检查要求 .....      | 240 | 8.4.1 质量管理的模式——全面质量管理 (TQC)、ISO 9000 族标准和 6 $\sigma$ 管理 ..... | 248 |
| 8.2.1 冲压件质量检查的依据 .....    | 240 | 8.4.2 排列图、因果图和对策表 .....                                       | 253 |
| 8.2.2 冲压件质量检查的内容 .....    | 240 | 8.4.3 冲压生产废品率和工装系数 .....                                      | 257 |
| 8.3 冲压件质量检查的方法 .....      | 247 |                                                               |     |
| 8.3.1 冲压件质量检查的模式 .....    | 247 |                                                               |     |
| 8.3.2 冲压件质量检查的方法 .....    | 247 |                                                               |     |

## 第 9 章 冲压生产现场工艺管理

|                         |     |                               |     |
|-------------------------|-----|-------------------------------|-----|
| 9.1 冲压工艺规程的编制 .....     | 259 | 9.2 工艺验证 .....                | 264 |
| 9.1.1 冲压工艺规程编制的依据 ..... | 259 | 9.2.1 工艺验证的内容 .....           | 265 |
| 9.1.2 冲压工艺规程编制的步骤 ..... | 261 | 9.2.2 工艺验证的组织 .....           | 265 |
| 9.1.3 冲压工艺性审查 .....     | 262 | 9.3 冲压生产现场工艺管理 .....          | 265 |
| 9.1.4 冲压工艺卡片编制 .....    | 263 | 9.3.1 生产用产品图纸及现场工艺文件的管理 ..... | 265 |
| 9.1.5 下料卡片 .....        | 264 | 9.3.2 工艺规程的落实与工艺纪律的监督 .....   | 266 |
| 9.1.6 检验卡片 .....        | 264 | 9.3.3 质量改进与监控 .....           | 266 |



# 目 录



|                    |            |     |
|--------------------|------------|-----|
| 9.3.4 安全生产与整洁文明生产的 | 监督管理 ..... | 266 |
|--------------------|------------|-----|

## 第 10 章 冲压生产成本与工时定额管理

|                        |     |                        |     |
|------------------------|-----|------------------------|-----|
| 10.1 冲压生产产品的工艺成本 ..... | 268 | 10.2.3 定额时间的计算方法 ..... | 273 |
| 10.1.1 产品价格和生产成本 ..... | 268 | 10.3 冲模生产工艺定额的制定 ..... | 275 |
| 10.1.2 工艺成本计算 .....    | 268 | 10.3.1 制定模具生产工艺定额的     |     |
| 10.2 冲压加工工时定额计算 .....  | 271 | 方法 .....               | 275 |
| 10.2.1 单件定额时间的构成 ..... | 272 | 10.3.2 生产工艺定额的组成 ..... | 276 |
| 10.2.2 批次准备与完结时间 ..... | 272 |                        |     |

## 第 11 章 冲压生产安全技术

|                        |     |                         |     |
|------------------------|-----|-------------------------|-----|
| 11.1 生产作业环境要求 .....    | 282 | 11.2.3 安全操作 .....       | 290 |
| 11.1.1 作业环境 .....      | 282 | 11.2.4 安全管理的要点 .....    | 291 |
| 11.1.2 工作场地 .....      | 285 | 11.3 冲压模具的安全技术 .....    | 291 |
| 11.2 生产现场的安全保护 .....   | 287 | 11.3.1 冲模技术安全状态 .....   | 291 |
| 11.2.1 冲压设备的安全装置 ..... | 287 | 11.3.2 冲压模具安全化措施 .....  | 292 |
| 11.2.2 冲压现场安全保护 .....  | 289 | 11.4 冲压模具的起吊用结构形式 ..... | 296 |

|            |     |
|------------|-----|
| 参考文献 ..... | 298 |
|------------|-----|



# 第1章

## 冲压件生产基础

### 1.1 冲压变形的理论基础

金属塑性成形是成形加工方法之一，是建立在金属塑性变形理论基础上的材料成形工程技术。要掌握冲压成形加工技术，就必须具有金属塑性变形理论的基础知识。

#### 1.1.1 塑性变形的基本概念

在金属材料中，原子之间作用着相当大的力，足以抵抗重力的作用，所以，在没有其他外力作用的条件下，金属物体将保持自身的形状和尺寸。当物体受到外力作用之后，它的形状和尺寸将发生变化即变形，变形的实质就是原子间的距离产生变化。假如作用于物体的外力去除后，由外力引起的变形随之消失，物体能完全恢复自身的原始形状和尺寸，这样的变形称为弹性变形。如果作用于物体的外力去除后，物体并不能恢复自身的原始形状和尺寸，这样的变形称为塑性变形。塑性变形和弹性变形都是在变形体不破坏的条件下进行的（即连续性不破坏）。

通常用塑性表示材料塑性变形的能力。所谓塑性是指固体材料在外力作用下发生永久变形而不破坏其完整性的能力。金属的塑性不是固定不变的，影响它的因素很多，除了金属本身的化学成分、晶格类型和金相组织等内在因素之外，其外部因素——变形方式（机械因素，即应力状态与应变状态）、变形条件（物理因素，即变形温度与变形速度）的影响也很大。影响金属塑性的主要因素如表 1-1 所示。

表 1-1 影响金属塑性的主要因素

| 影响 因素  | 影 响 规 律                                                                                                                                  |
|--------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 材料组织结构 | 面心立方结构的金属塑性好于体心立方，密排六方最差。组成金属的元素越少（如纯金属和固溶体），晶粒愈细小，组织分布愈均匀，则金属塑性愈好                                                                       |
| 应力状态   | 压应力有利于封闭裂纹，阻止其继续扩展，减小或阻止晶间变形，增加晶间结合力，消除由于塑性变形引起的各种破坏；与此相反，拉应力则促使材料的裂纹扩展，加快材料的破坏。所以，在应力状态中，压应力个数愈多，数值愈大，则金属的塑性愈好。反之，拉应力个数愈多，数值愈大，则金属的塑性愈差 |
| 变形温度   | 一般温度升高，塑性增加                                                                                                                              |
| 变形速度   | 变形速度对塑性的影响有正反两方面，对大多数金属来说，塑性随变形速度变化的一般趋势是先降低后增加                                                                                          |



衡量金属塑性高低的参数称为塑性指标。塑性指标是以材料开始破坏时的塑性变形量来表示的。它可借助于各种试验方法测定。目前应用比较广泛的是拉伸试验。对应于拉伸试验的塑性指标，用伸长率 $\delta$ 和断面收缩率 $\psi$ 表示。 $\delta$ 和 $\psi$ 的数值由下式确定

$$\delta = \frac{L_k - L_0}{L_0}$$

$$\psi = \frac{A_0 - A_k}{A_0}$$

式中  $L_0$ ——拉伸试样原始长度，mm；

$L_k$ ——拉伸试样破断后标距间的长度，mm；

$A_0$ ——拉伸试样原始断面积，mm<sup>2</sup>；

$A_k$ ——拉伸试样破断处的断面积，mm<sup>2</sup>。

### 1.1.2 塑性变形对金属组织和性能的影响

塑性变形时，使金属产生变形的外力称为变形力。金属抵抗变形的力称为变形抗力，它反映材料产生塑性变形的难易程度，一般用金属材料产生塑性变形所受的单位变形力表示其大小。

金属受外力作用产生塑性变形后不仅形状和尺寸发生变化，而且其内部的组织和性能也将发生变化，一般会产生加工硬化（冷作硬化）现象，即金属的力学性能随着变形程度的增加，强度和硬度逐渐增加，而塑性和韧性逐渐降低；晶粒会沿变形方向伸长排列形成纤维组织使材料产生各向异性；由于变形不均，会在材料内部产生应力，变形后作为残余应力保留在材料内部。

### 1.1.3 塑性力学基础

(1) 点的应力与应变状态 金属冲压成形时，外力通过模具作用在坯料上，使其内部产生应力，并且发生塑性变形。一定的力的作用方式和大小都对应着一定的变形，受力不同，变形就不同。

由于坯料变形区内各点的受力和变形情况不同，为了全面、完整地描述变形区内各点的受力情况，引入点的应力状态的概念。某点的应力状态，通常是围绕该点取出一个微小（正）六面体（即所谓单元体），用该单元体上三个相互垂直面上的应力来表示。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个切应力，如图1-1(a)所示。由于单元体处于静平衡状态，根据切应力互等定理（ $\tau_{xy} = \tau_{yx}$ ， $\tau_{xz} = \tau_{zx}$ ， $\tau_{yz} = \tau_{zy}$ ），实际上只需要知道6个应力分量，即3个正应力和3个切应力，就可以确定该点的应力状态。

对于任何一种应力状态，总是存在这样一组坐标系，使得单元体各表面只有正应力而无切应力，如图1-1(b)所示，这样，应力状态的表示将大大简化。切应力为零的平面称为主平面，与主平面垂直的各条轴线称为主轴，作用在主平面



上的正应力称为主应力（一般用  $\sigma_1$ 、 $\sigma_2$ 、 $\sigma_3$  表示），以主应力表示的应力状态，称为主应力状态，表示主应力有无方向的图形，称为主应力状态图。塑性变形过程中，可能出现的主应力状态共有 9 种，如图 1-2 所示。

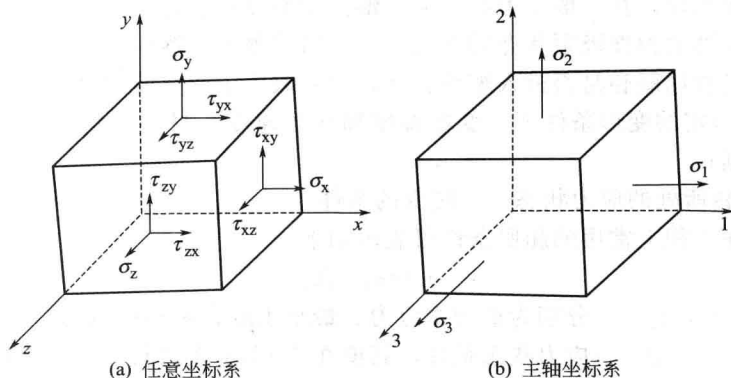


图 1-1 点的应力状态

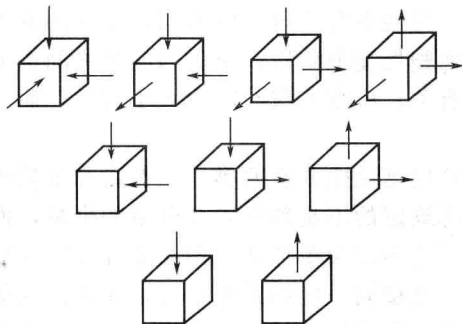


图 1-2 9 种主应力状态图

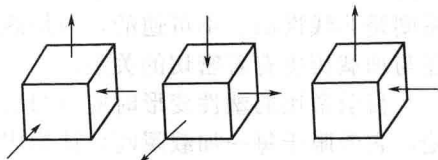


图 1-3 三种主应变状态图

变形体内存在应力必然产生应变。通常用应变状态来描述点的变形情况，点的应变状态与点的应力状态类似。应变也有正应变和切应变之分，当采用主轴坐标系时，单元体上也只有三个主应变分量  $\epsilon_1$ 、 $\epsilon_2$ 、 $\epsilon_3$ 。

金属材料在塑性变形时，体积变化很小，可以忽略不计。因此，一般认为金属材料在塑性变形时体积不变，可证明满足  $\epsilon_1 + \epsilon_2 + \epsilon_3 = 0$ ，由此可见，塑性变形时，三个主应变分量不可能全部同号，只可能有三向和两向应变状态，不可能有单向应变状态。其主应变状态图只有三种，如图 1-3 所示。

(2) 金属的屈服条件 材料处于单向应力状态时，当应力值达到材料的屈服极限，该质点即进行屈服，进入塑性状态。在多向应力状态时，显然就不能仅仅用某一应力分量来判断质点是否进入塑性状态，必须同时考虑其他应力分量。研究表明，只有当各应力分量之间的关系满足某种条件时，质点才进入塑性状态。这种条件称为屈服条件或屈服准则，也称塑性条件或塑性方程。



材料满足屈服条件则表明其处于塑性状态。材料要进行塑性变形,必须始终满足屈服条件。对于应变硬化材料,材料要由弹性变形转为塑性变形,必须满足的屈服条件称为初始屈服条件;而塑性变形要继续发展,必须满足的屈服条件称为后继屈服条件。在一般应力状态下,塑性变形过程的发生、发展,实质上可以理解为一系列的弹性极限状态的突破——初始屈服和后继屈服。

材料是否屈服和是否进入塑性状态,主要取决于两方面的因素:

① 在一定的变形条件下(变性温度和变形速度)材料的物理力学性质——转变的根据;

② 材料所处的应力状态——转变的条件。

目前在工程上常用的屈服条件可表示如下

$$\sigma_1 - \sigma_3 = \beta \sigma_s$$

式中  $\sigma_1, \sigma_3, \sigma_s$ ——分别为最大主应力、最小主应力和屈服应力;

$\beta$ ——应力状态系数,其值在 1~1.155 之间,当  $\sigma_2 = (\sigma_1 + \sigma_3)/2$  时,  $\beta = 1.155$ ; 当  $\sigma_2 = \sigma_1$  或  $\sigma_2 = \sigma_3$  时,  $\beta = 1$ ; 一般近似取 1.1。

(3) 金属塑性变形时的应力应变关系 弹性变形阶段,应力与应变之间的关系是线性的、可逆的,与加载历史无关;而塑性变形阶段,应力与应变之间的关系则是非线性的、不可逆的,与加载历史有关。应变不仅与应力大小有关,而且还与加载历史有着密切的关系。

目前常用的塑性变形时应力与应变关系的理论主要有两类:一类简称增量理论,它着眼于每一加载瞬间,认为应力状态确定的不是塑性应变分量的全量,而是它的瞬时增量;另一类简称全量理论,它认为在简单加载(即在塑性变形发展的过程中,只加载,不卸载,各应力分量一直按同一比例系数增长,又称比例加载)条件下,应力状态可确定塑性应变分量。为了便于理解和比较,在此仅介绍全量理论。

全量理论认为在简单加载条件下,塑性变形的每一瞬间,主应力差与主应变差成比例,即

$$\frac{\sigma_1 - \sigma_2}{\epsilon_1 - \epsilon_2} = \frac{\sigma_2 - \sigma_3}{\epsilon_2 - \epsilon_3} = \frac{\sigma_3 - \sigma_1}{\epsilon_3 - \epsilon_1} = \Psi$$

式中  $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ ——主应力;

$\epsilon_1, \epsilon_2, \epsilon_3$ ——主应变;

$\Psi$ ——非负比例系数,其值与材料性质和变形程度有关,而与变形体所处的应力状态无关。

了解塑性变形时应力应变关系有助于分析冲压成形时板材的应力与应变。通过对塑性变形时应力应变关系的分析,可得出以下结论:

① 应力分量与应变分量符号不一定一致,即拉应力不一定对应拉应变,压应力不一定对应压应变;



- ② 某方向应力为零其应变不一定为零；
- ③ 在任何一种应力状态下，应力分量的大小与应变分量的大小次序是相对应的，即  $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$ ，则有  $\epsilon_1 > \epsilon_2 > \epsilon_3$ ；
- ④ 若有两个应力分量相等，则对应的应变分量也相等，即若  $\sigma_1 = \sigma_2$ ，则有  $\epsilon_1 = \epsilon_2$ 。

### 1.1.4 金属塑性变形的基本规律

(1) 硬化规律 冲压生产一般要使金属进行塑性变形，变形的结果是使金属内部的晶粒碎化、细化，形成很多位错，从而引起加工硬化，塑性降低，变形抗力提高。材料不同，变形条件不同，其加工硬化的程度也就不同。因此应了解材料的硬化现象及其规律，并在实际生产中应用。

表示变形抗力随变形程度增加而变化的曲线称为硬化曲线，也称实际应力曲线或真实应力曲线。实际应力曲线与假想应力曲线如图 1-4 所示。从图中可以看出，实际应力曲线能真实反映变形材料的加工硬化现象。

图 1-5 是用试验方法求得的几种金属在室温下的硬化曲线。从曲线的变化规律来看，几乎所有的硬化曲线都具有一个共同的特点，即在塑性变形的开始阶段，随变形程度的增大，实际应力剧烈增加，当变形程度达到某些值以后，变形的增加不再引起实际应力值的显著增加。这种变化规律可近似用指数曲线表示。

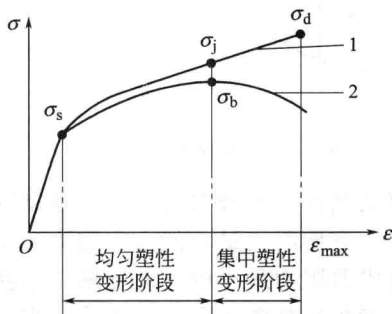


图 1-4 金属的应力应变图

1—实际应力曲线；2—假想应力曲线

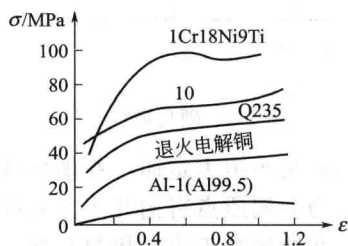


图 1-5 材料的硬化曲线

(2) 卸载弹性恢复规律和反载软化现象 由图 1-6 所示的硬化曲线可知，在弹性变形范围内，应力与应变的关系是线性函数关系。在弹性变形的范围内卸载，应力、应变仍然按照同一直线回到原点，变形完全消失，没有残留的永久变形。如果变形进入塑性变形范围，超过屈服点 A，达到某点 B( $\sigma$ ,  $\epsilon$ )，再逐渐减小外载，应力应变的关系就按另一条直线逐渐降低，不再重复加载曲线所经过的路线。卸载直线正好与加载时弹性变形的直线段相平行，直至载荷为零。于是，加载时的总变形  $\epsilon$  就分为两部分：一部分  $\epsilon_e$  因弹性恢复而消失，另一部分  $\epsilon_s$  仍然保留下来，成为永久变形。



如卸载后再重新同向加载, 应力应变关系将沿直线  $CB$  逐渐上升, 到达  $B$  点应力  $\sigma$  时, 材料才又开始屈服, 随后应力应变关系继续沿着加载曲线变化。所以  $\sigma$  又可以理解为材料在变形程度  $\epsilon$  时的屈服点。推而广之, 在塑性变形阶段, 实际应力曲线上每一点的应力值, 都可理解为材料在相应的变形程度下的屈服点。

如果卸载后反向加载, 由拉伸改为压缩, 试验表明, 反向加载时, 材料的屈服应力较拉伸时的屈服应力有所降低, 出现所谓反载软化现象。反向加载时屈服应力的降低量, 视材料的种类及正向加载的变形程度不同而异。关于反软化现象, 有人认为可能是因为正向加载时材料中的残余应力引起的。

反向加载, 材料屈服后应力应变之间基本上按照加载时的曲线规律变化, 见图 1-7。

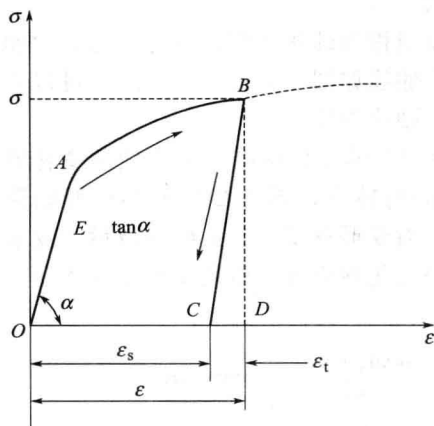


图 1-6 硬化曲线

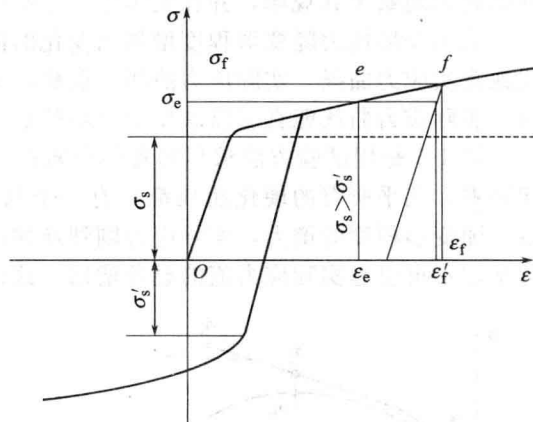


图 1-7 反载软化曲线

(3) 最小阻力定律 在塑性变形中, 金属的整体平衡被打破而进行强制性流动时, 当金属质点有向几个方向移动的可能时, 它向阻力最小的方向移动。换句话说, 在冲压加工中, 板料在变形过程中总是沿着阻力最小的方向发展, 这就是塑性变形中的最小阻力定律。例如, 将一块方形板料拉深成圆桶形制品, 当凸模将板料拉入凹模时, 距凸模中心愈远的地方 (即方形料的对角线处), 流动阻力愈大, 愈不易向凹模洞口流动, 拉深变形后, 凸缘形成弧状而不是直线边, 如图 1-8 所示。最小阻力定律说明了在冲压生产中金属板料流动的趋势, 控制金属流动就可控制变形的趋向性。影响金属流动的因素主要是材料本身的特性和应力状态, 而应力状态与冲压工序的性质、工艺参数和模具结构参数 (如凸模、凹模工作部分的圆角半径、摩擦和间隙等) 有关。

冲压成形必须正确控制金属流动——开流和限流。开流就是在需要金属流动的地方减小阻力, 使其顺利流动, 达到成形的目的。当某处需要金属流入而不易流入时, 该局部就会发生变薄, 甚至板料断裂。限流就是在不需金属流动的地方增大阻力, 限制金属流入, 当某处不需要金属流入而流入金属时, 多余的金属就



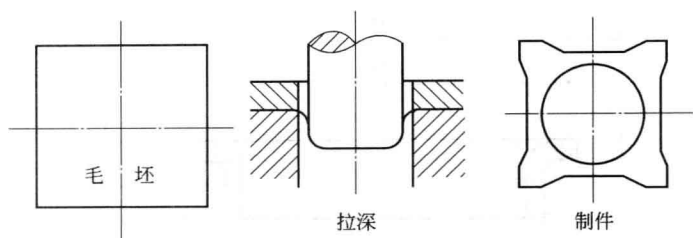


图 1-8 方板拉深试验——最小阻力定律

会使该处产生起皱。具体控制金属流动的措施，有改变凸模与凹模工作部分的圆角半径以及改变摩擦、间隙、应力性质等。加大圆角半径和间隙、减小摩擦，均能起到开流作用；反之则起限流作用。例如矩形件拉深若直边与四角的间隙值相同时，不是四角拉破就是直壁部分起皱。若对四角部分采取开流而对直边部分采取限流措施，则可消除上述问题。方法是直边采用小间隙，四角采用大间隙；或使凹模四角的圆角半径大于直边部分的圆角半径。又如在大型覆盖件拉伸成形中采取调节压边力，增设拉深筋和开切口等方法，均可调节金属流动阻力。

最小阻力定律是塑性加工中最重要的定性原理之一，它在冲压加工中有十分灵活和广泛的应用，能正确指导冲压工艺及模具设计，解决实际生产过程中出现的质量问题。

(4) 最小阻力定律应用——冲压成形中的趋向性分析及其控制在板料成形过程中，可以划分为变形区、传力区和不变形区。但这种划分是动态的，在成形过程中，变形区和传力区的范围、尺寸不断变化，而且还有可能互相转化。如图

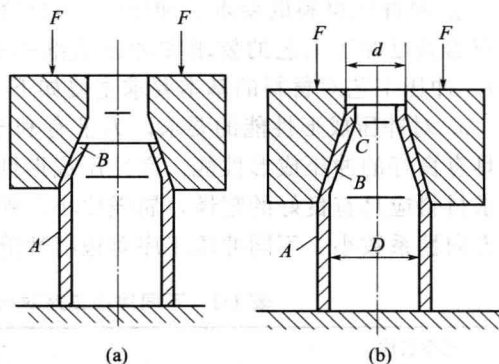


图 1-9 缩口加工中制件各区的划分

A—传力区；B—变形区；C—已变形区

1-9 所示，进行缩口成形时，开始随着凹模下降变形区  $B$  不断扩大，传力区  $A$  不断减小，金属不断从传力区转移到变形区。冲压时，首先产生塑性变形（即所需变形力较小）的区称为弱区。为了使冲压生产过程顺利进行，必须保证制件上首先变形的部分为弱区，以把塑性变形局限于变形区，并排除在传力区产生塑性变形的可能性。

在设计工艺方案，确定工序和半成品尺寸时，必须遵循弱区先变形，变形区为弱区的条件。如图 1-10 所示制件，当  $D-d$  较大而  $h$  较小时，其成形方法可采用带孔的环形坯料通过翻边制成；当  $D-d$  较小而  $h$  较大时，此时进行翻边就不能保证外环为强区和内环为弱区的条件，成形过程中必然造成外径收缩使翻边难以成形。

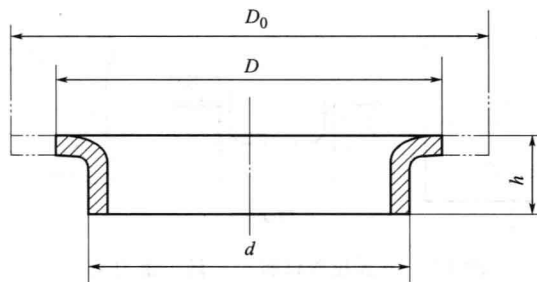


图 1-10 变形趋向对冲压工艺的影响

在冲压生产中,变形区和传力区在一定条件下可以互相转化。改变某些条件,就可实现对变形趋向的控制。

### 1.1.5 冲压材料及其冲压成形性能

#### (1) 冲压材料

① 对冲压材料的要求。冲压所用的材料,不仅要满足产品设计的技术要求,还应当满足冲压工艺的要求和冲压后继的加工要求(如切削加工、焊接、电镀等)。冲压工艺对材料的基本要求主要如下。

a. 对冲压成形性能的要求。为了有利于冲压变形和制件质量的提高,材料应具有良好的冲压成形性能。而冲压成形性能与材料的力学性能密切相关,通常要求材料应具有良好的塑性,屈强比小,弹性模量高,板厚方向性系数大,板平面方向性系数小。不同冲压工序对板材性能的具体要求如表 1-2 所示。

表 1-2 不同冲压工序对板材性能的具体要求

| 工序名称 | 性能要求                                                      |
|------|-----------------------------------------------------------|
| 冲裁   | 具有足够的塑性,在进行冲裁时板料不开裂;材料的硬度一般应低于冲模工作部分的硬度                   |
| 弯曲   | 具有足够的塑性、较低的屈服极限和较高的弹性模量                                   |
| 拉深   | 高塑性、屈服极限低和板厚方向性系数大,板料的屈强比 $\sigma_s/\sigma_b$ 小,板平面方向性系数小 |

b. 对材料厚度公差的要求。材料的厚度公差应符合国家标准规定。因为一定厚度的材料对应有一个最佳模具间隙范围,材料厚度公差太大,不仅直接影响制件的质量,还可能导致模具和冲床的损坏。

c. 对表面质量的要求。材料的表面应光洁平整,无分层和机械性质的损伤,无锈斑、氧化皮及其他附着物。表面质量好的材料,冲压时不易破裂,不易擦伤模具,工件表面质量好。

② 常用冲压材料。冲压用材料的形状有各种规格的板料、带料和块料。板料的尺寸较大,一般用于大型零件的冲压,对于中小型零件,多数是将板料剪裁