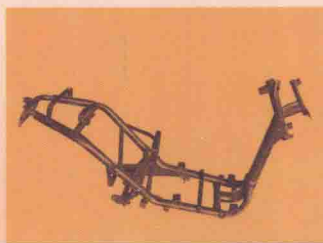


实用冲压 技术手册

◎ 王孝培 主编 ◎ 温彤 副主编

第 2 版

Shiyong Chongya
Jishu Shouce



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

实用冲压技术手册

第 2 版

主 编 王孝培
副主编 温 彤
参 编 何大钧 徐戊矫



机械工业出版社

本手册对冲压工艺及冲模设计作了系统论述, 主要内容包括: 冲裁、弯曲、拉深、成形、管材冲压、模具结构与设计与、冲压模具常用标准、冲压材料、模具材料及热处理、冲压设备、冲压安全技术等; 对精密冲裁、薄板成形性能、非金属材料冲裁、大型覆盖件成形工艺及模具、特种冲模、氮气弹簧、模具设计 CAD/CAE、拼焊板等方面的内容也作了介绍, 还编入了冲压工艺及模具设计典型实例以及必要的设计资料。全书内容丰富, 重点突出, 实用性强, 适用面广。

本手册可供从事冲压工艺及冲压模具设计人员使用, 也可供有关的科研人员及大专院校师生参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

实用冲压技术手册/王孝培主编. —2 版. —北京: 机械工业出版社, 2013. 8

ISBN 978-7-111-42739-1

I. ①实… II. ①王… III. ①冲压-技术手册 IV. ①TG38-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 117351 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑: 马晋 责任编辑: 马晋 张振勇 宋亚东

版式设计: 霍永明 责任校对: 张晓蓉

封面设计: 张静 责任印制: 杨曦

北京铭成印刷有限公司印刷

2013 年 10 月第 2 版第 1 次印刷

169mm × 239mm · 41.5 印张 · 2 插页 · 1249 千字

0001—3000 册

标准书号: ISBN 978-7-111-42739-1

定价: 98.00 元



凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心: (010) 88361066 教材网: <http://www.cmpedu.com>

销售一部: (010) 68326294 机工官网: <http://www.cmpbook.com>

销售二部: (010) 88379649 机工官博: <http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线: (010) 88379203 封面无防伪标均为盗版

前 言

近年来，随着科技的进步和工业生产的发展，对冲压的品种、效率及质量都提出了更高的要求。与此同时，冲压技术水平也在不断地提高，一些新工艺、新技术相继出现并在生产中逐渐应用。为此，本手册在第1版的基础上进行了必要的修订，以适应冲压技术的发展和满足读者的需求。

本次修订的原则是保持第1版的体例不变，适当对各章节的内容进行调整、补充和完善。主要修订内容包括：

- 1) 根据冲压技术的发展和冲压生产的需要，增加了冲压模具最新的常用标准，这是读者进行模具设计与制造的必备资料。
- 2) 对模具结构及设计部分做了适当调整、删减，充实、更新了相关的内容。
- 3) 对冲裁、弯曲、拉深、成形、模具材料及热处理、冲压安全技术、冲压材料及其成形性能、覆盖件的成形等做了改进。
- 4) 对其余涉及标准更新等内容的部分也进行了必要的修订。

此次修订注重理论联系实际、突出实用性，引用理论以能说明冲压成形规律为限；所列各种计算公式、数据、图表资料以实际设计、生产工作中常用为原则。在内容取材上，尽量做到反映当今冲压成形工艺与模具的研究成果，力求内容丰富、重点突出、深入浅出、通俗易懂，且配以实例，以便于读者自学、理解和掌握。

本手册由重庆大学王孝培任主编，温彤任副主编，参加编写的有何大钧和徐戊矫。具体编写分工如下：第一、二、四、六章由王孝培编写；第三、五、十二章由温彤编写；第八、九、十、十一章和附录由何大钧编写；第七章由徐戊矫编写。

由于编者水平有限，疏漏之处在所难免，敬请读者批评指正。

编 者

目 录

| | |
|--------------------|----|
| 前言 | |
| 第一章 概论 | 1 |
| 第一节 冲压工序的分类 | 1 |
| 第二节 冲压成形的变形力学特点与分类 | 4 |
| 第三节 冲压变形趋向性及其控制 | 6 |
| 第四节 板材冲压性能及试验方法 | 8 |
| 一、板材冲压性能 | 8 |
| 二、冲压成形性能的试验方法 | 10 |
| 第五节 成形极限 | 17 |
| 一、成形极限图 (FLD) 的制作 | 17 |
| 二、成形极限图在生产中的应用 | 19 |
| 第六节 冲压用原材料 | 19 |
| 一、常用板材的冲压性能 | 19 |
| 二、常用冲压材料的种类、性能和规格 | 26 |
| 三、冲压用新材料 | 26 |
| 第二章 冲裁与剪切 | 32 |
| 第一节 冲裁过程变形分析 | 32 |
| 一、冲裁过程 | 32 |
| 二、变形过程力学分析 | 33 |
| 第二节 冲裁间隙 | 34 |
| 一、间隙的影响 | 34 |
| 二、间隙的确定 | 36 |
| 第三节 冲裁力与冲裁功 | 39 |
| 一、冲裁力的计算 | 39 |
| 二、卸料力、推件力和顶件力 | 41 |
| 三、降低冲裁力的方法 | 42 |
| 四、冲裁功 | 43 |
| 第四节 冲裁件的排样与搭边 | 44 |
| 一、材料利用率 | 44 |
| 二、排样方法 | 44 |
| 三、搭边及条料宽度 | 46 |
| 第五节 冲裁件的工艺性 | 49 |
| 一、冲裁件的形状和尺寸 | 49 |
| 二、冲裁件的精度与表面粗糙度 | 51 |

| | |
|-------------------|----|
| 第六节 冲模刃口尺寸的计算 | 53 |
| 一、尺寸计算原则 | 53 |
| 二、尺寸计算方法 | 53 |
| 第七节 非金属材料冲裁 | 58 |
| 一、热塑性塑料板的剪切 | 58 |
| 二、酚醛树脂层压板的剪切 | 58 |
| 三、非金属材料冲裁模 | 60 |
| 第八节 精密冲裁 | 62 |
| 一、精密冲裁的工艺方法 | 63 |
| 二、精冲(齿圈压板冲裁) | 64 |
| 第九节 板材剪切 | 72 |
| 一、平刃剪和斜刃剪 | 72 |
| 二、滚动剪与振动剪 | 74 |
| 第三章 弯曲 | 76 |
| 第一节 弯曲的力与变形特点 | 77 |
| 第二节 弯曲件毛坯长度计算 | 78 |
| 一、应变中性层的确定 | 78 |
| 二、毛坯展开长度的计算 | 79 |
| 第三节 弯曲件的回弹 | 81 |
| 一、影响回弹的主要因素 | 82 |
| 二、回弹角的确定 | 82 |
| 第四节 弯曲件的工艺性 | 83 |
| 一、弯曲精度 | 83 |
| 二、最小弯曲半径 | 84 |
| 三、直边高度 | 85 |
| 四、孔边距 | 86 |
| 五、形状与尺寸的对称性 | 86 |
| 六、其他工艺性要求 | 86 |
| 第五节 弯曲力的计算 | 87 |
| 第六节 弯曲模工作部分的设计 | 88 |
| 一、凸、凹模的圆角半径与凹模的深度 | 88 |
| 二、凸、凹模间隙 | 88 |
| 第七节 提高弯曲件质量的工艺措施 | 89 |
| 一、弯曲件的常见缺陷及解决办法 | 89 |
| 二、提高弯曲件质量的要点 | 91 |
| 第八节 辊弯成形 | 92 |
| 一、辊弯成形特点 | 92 |
| 二、辊弯成形原理与工艺设计 | 93 |
| 三、辊弯成形设备 | 96 |

| | |
|---------------------------|------------|
| 第九节 型材弯曲 | 97 |
| 一、型材弯曲的变形特点与主要缺陷 | 97 |
| 二、型材弯曲时展开尺寸计算 | 98 |
| 第四章 拉深 | 100 |
| 第一节 圆筒形件拉深变形分析 | 100 |
| 一、拉深过程 | 100 |
| 二、拉深过程的力学分析 | 101 |
| 三、起皱与拉裂 | 102 |
| 第二节 圆筒形件的拉深工艺计算 | 103 |
| 一、毛坯尺寸计算 | 103 |
| 二、无凸缘圆筒形件的拉深 | 118 |
| 三、带凸缘筒形件的拉深 | 123 |
| 第三节 阶梯圆筒形件的拉深 | 131 |
| 一、拉深次数 | 131 |
| 二、由大阶梯到小阶梯的拉深程序 | 132 |
| 三、由小阶梯到大阶梯的拉深程序 | 132 |
| 四、浅阶梯形件的成形 | 132 |
| 五、带锥形阶梯件的拉深 | 132 |
| 第四节 锥形件、球面件及抛物面件的拉深 | 133 |
| 一、锥形件的拉深 | 134 |
| 二、球面件的拉深 | 139 |
| 三、抛物面件的拉深 | 140 |
| 第五节 盒形件的拉深 | 142 |
| 一、低盒形件的拉深 | 142 |
| 二、高盒形件的拉深 | 148 |
| 第六节 其他拉深方法 | 150 |
| 一、变薄拉深 | 150 |
| 二、温差拉深 | 155 |
| 三、软模拉深 | 156 |
| 第七节 拉深模工作部分参数 | 160 |
| 一、圆角半径 | 160 |
| 二、间隙 | 161 |
| 三、工作部分尺寸的确定 | 162 |
| 第八节 压边力、拉深力和拉深功 | 163 |
| 一、压边力 | 163 |
| 二、拉深力及拉深功 | 164 |
| 第九节 典型零件拉深工序安排 | 168 |
| 一、拉深件工序安排的一般规则 | 168 |
| 二、阶梯形件拉深的规则 | 170 |

| | |
|-------------------------------|------------|
| 第十节 拉深的辅助工序 | 171 |
| 一、退火 | 171 |
| 二、酸洗 | 171 |
| 三、润滑 | 172 |
| 第十一节 拉深件质量分析 | 176 |
| 一、起皱 | 176 |
| 二、破裂 | 176 |
| 三、表面拉毛 | 177 |
| 四、拉深件的形状及尺寸不良缺陷 | 177 |
| 第五章 成形 | 180 |
| 第一节 胀形 | 180 |
| 一、圆柱形空心坯料的胀形 | 180 |
| 二、起伏成形 | 183 |
| 第二节 旋压 | 184 |
| 一、普通旋压 | 184 |
| 二、变薄旋压 | 186 |
| 第三节 翻边 | 188 |
| 一、翻孔 | 188 |
| 二、外缘翻边 | 191 |
| 三、变薄翻边 | 194 |
| 第四节 缩口与扩口 | 195 |
| 一、缩口 | 195 |
| 二、扩口 | 197 |
| 第五节 校平、整形与压印 | 198 |
| 一、校平 | 198 |
| 二、整形 | 199 |
| 三、校平与整形力 | 200 |
| 四、压印 | 200 |
| 第六节 覆盖件的成形 | 201 |
| 一、覆盖件成形特点 | 201 |
| 二、覆盖件常用材料及要求 | 201 |
| 三、覆盖件成形工艺 | 202 |
| 四、覆盖件冲压成形性能、主要质量问题及解决办法 | 207 |
| 五、高强度钢板与拼焊板的成形特点 | 209 |
| 第七节 多点成形与渐进成形 | 210 |
| 一、多点成形 | 210 |
| 二、渐进成形 | 211 |
| 第六章 管材冲压 | 212 |
| 第一节 管材冲切加工 | 212 |

| | |
|------------------------------------|------------|
| 一、管材切断 | 212 |
| 二、管材剖口 | 215 |
| 三、管材冲孔 | 217 |
| 第二节 管材弯曲 | 219 |
| 一、管材弯曲变形及最小弯曲半径 | 220 |
| 二、管材截面形状畸变及其防止方法 | 220 |
| 三、弯曲力矩的计算 | 223 |
| 第三节 管材翻卷成形 | 223 |
| 一、管外翻卷成形 | 223 |
| 二、管内翻卷成形 | 227 |
| 三、非常规翻卷成形 | 227 |
| 第七章 模具结构及设计 | 231 |
| 第一节 冲模分类 | 231 |
| 第二节 冲模的典型结构和特点 | 232 |
| 一、单工序模 | 232 |
| 二、复合模 | 241 |
| 三、级进模 | 242 |
| 第三节 冲模主要零部件的结构及设计 | 248 |
| 一、冲模主要零部件分类 | 248 |
| 二、冲模零部件设计 | 249 |
| 第四节 大型覆盖件冲压模具 | 289 |
| 一、覆盖件拉深模 | 289 |
| 二、覆盖件修边模 | 292 |
| 三、覆盖件翻边模 | 298 |
| 第五节 特种冲模 | 299 |
| 一、低熔点合金模具 | 299 |
| 二、锌基合金模 | 300 |
| 三、聚氨酯橡胶模 | 302 |
| 四、组合冲模 | 304 |
| 第六节 冲模设计要点 | 311 |
| 一、冲模设计应具备的技术资料 | 311 |
| 二、冲模设计一般程序与内容 | 311 |
| 三、模具总体结构形式的确定 | 311 |
| 四、冲模设计闭合高度及冲模与压力机尺寸的配合关系（参见第十章第三节） | 312 |
| 五、模具总图的绘制及模具零件图的测绘 | 312 |
| 第七节 模具设计 CAD/CAE | 312 |
| 一、概述 | 312 |
| 二、模具设计案例 | 312 |
| 第八章 冲压模具常用标准 | 333 |

| | |
|-------------------------|------------|
| 第一节 冲模模架及其零件标准 | 333 |
| 一、冲模模架的形式 | 333 |
| 二、冲模滑动导向模架标准 | 334 |
| 三、冲模滑动导向模座标准 | 348 |
| 四、冲模滚动导向模架标准 | 364 |
| 五、冲模滚动导向模座标准 | 370 |
| 六、模柄标准 | 376 |
| 七、冲模导向装置 | 385 |
| 八、冲模模架技术条件标准 | 402 |
| 九、冲模模架零件技术条件标准 | 403 |
| 第二节 冲模工作零部件标准 | 405 |
| 一、凸模的标准 | 405 |
| 二、凹模的标准 | 413 |
| 第三节 冲模技术条件 | 419 |
| 一、冲模技术条件标准 | 419 |
| 二、冲模零件技术条件标准 | 421 |
| 第四节 冲模常用紧固零件标准 | 422 |
| 一、螺钉 | 422 |
| 二、销钉 | 427 |
| 第五节 弹性元件标准 | 430 |
| 一、圆钢丝圆柱螺旋压缩弹簧 | 430 |
| 二、碟形弹簧 | 435 |
| 三、弹性体压缩弹簧 | 438 |
| 四、氮气弹簧 | 442 |
| 第六节 冲压模具零件常用公差、配合及表面粗糙度 | 449 |
| 第九章 模具材料及热处理 | 456 |
| 第一节 冲压模具材料的选择原则 | 456 |
| 第二节 模具材料 | 456 |
| 一、模具钢的分类 | 457 |
| 二、常用优选模具钢 | 458 |
| 三、模具钢的化学成分及用途 | 460 |
| 四、硬质合金及钢结硬质合金的化学成分和性能 | 465 |
| 五、非铁金属及其合金 | 467 |
| 六、环氧树脂 | 470 |
| 七、聚氨酯橡胶 | 471 |
| 第三节 冲压模具材料的选用 | 474 |
| 一、按模具材料性能选择 | 474 |
| 二、按模具种类选择模具材料 | 475 |
| 三、按制件产量选择模具材料 | 479 |

| | |
|---------------------------|------------|
| 四、按制件材料选择模具材料····· | 480 |
| 五、按模具使用寿命选择模具材料····· | 481 |
| 第四节 冲压模具主要材料的许用应力····· | 483 |
| 第五节 模具钢的锻造工艺····· | 483 |
| 一、冲压模具用钢锻造工艺规范····· | 483 |
| 二、新型冲压模具钢的锻造工艺特性····· | 485 |
| 第六节 模具钢的热处理····· | 487 |
| 一、冲压模具用钢锻件的预备热处理工艺····· | 487 |
| 二、冲压模具用钢的热处理····· | 493 |
| 三、钢的真空热处理····· | 501 |
| 四、钢结硬质合金的热处理····· | 503 |
| 五、淬火冷却介质····· | 505 |
| 六、模具热处理常见缺陷及防止措施····· | 505 |
| 第七节 模具零件的表面强化技术····· | 506 |
| 一、模具工作零件表面强化方法的分类及性能····· | 507 |
| 二、改变表面化学成分的表面强化方法····· | 507 |
| 三、表面形成覆盖层的强化方法····· | 521 |
| 四、不改变表面化学成分的强化方法····· | 531 |
| 第十章 冲压设备····· | 535 |
| 第一节 常用冲压设备的类型及规格····· | 535 |
| 一、冲压设备的分类····· | 535 |
| 二、通用压力机····· | 537 |
| 三、拉深压力机····· | 545 |
| 四、摩擦压力机····· | 548 |
| 五、剪板机····· | 548 |
| 六、液压机····· | 551 |
| 七、精压机····· | 551 |
| 八、折弯机····· | 554 |
| 第二节 现代精密压力机····· | 557 |
| 一、精冲压力机····· | 557 |
| 二、数控步冲压力机····· | 564 |
| 三、高速自动压力机····· | 565 |
| 四、板料冲压多工位压力机····· | 571 |
| 五、数控回转头压力机····· | 572 |
| 六、电磁成形装置技术参数····· | 573 |
| 第三节 冲压设备的选择····· | 573 |
| 一、冲压设备类型的选择····· | 573 |
| 二、确定设备规格····· | 575 |
| 第十一章 冲压安全技术····· | 582 |

| | |
|-------------------------------|------------|
| 第一节 压力机安全保护装置和手用工具 | 582 |
| 一、压力机安全保护装置 | 582 |
| 二、安全装置在压力机上安装时的安全距离 | 589 |
| 三、手工具 | 590 |
| 第二节 冲压模具安全技术 | 592 |
| 一、冲压模具安全技术措施 | 592 |
| 二、冲模安装、调整、搬运和储藏的安全技术 | 599 |
| 第三节 自动保护装置 | 601 |
| 一、装置 | 602 |
| 二、典型线路 | 608 |
| 第四节 冲压生产中的噪声及其控制 | 610 |
| 一、冲压生产中的噪声源 | 610 |
| 二、噪声的危害及其允许标准 | 612 |
| 三、噪声的控制 | 614 |
| 第十二章 冲压工艺与模具设计实例 | 616 |
| 第一节 冲压工艺与模具设计的内容及步骤 | 616 |
| 一、工艺设计 | 616 |
| 二、模具设计 | 616 |
| 三、编写工艺文件及设计计算说明书 | 617 |
| 第二节 冲压工艺与模具设计实例 | 617 |
| 一、摩托车侧盖前支承冲压工艺设计 | 617 |
| 二、微型汽车水泵叶轮冲压工艺与模具设计 | 621 |
| 附录 | 630 |
| 附录 A 常用冲压材料的化学成分和力学性能 | 630 |
| 附录 B 常用冲压材料的规格尺寸 | 637 |
| 附录 C 中外常用金属材料牌号对照 | 644 |
| 参考文献 | 649 |

第一章 概 论

冲压加工主要是利用装在压力机上的模具对毛坯施加外力,使其产生塑性变形或分离,从而得到一定尺寸、形状和性能的制件,是金属塑性加工的基本方法之一。由于冲压加工一般以板料为原材料,且多在常温下进行,所以也常称为板料冲压或冷冲压。

冲压加工具有如下特点:

- 1) 生产率高、操作简单、容易实现机械化和自动化,特别适合于成批大量生产。
- 2) 冲压零件表面光洁,尺寸精度稳定,互换性好,成本低廉。
- 3) 在材料消耗不多的情况下,可以获得强度高、刚度大、质量轻的零件。
- 4) 可得到其他加工方法难以加工或无法加工的复杂形状零件。

由于冲压加工具有节材、节能和生产率高等

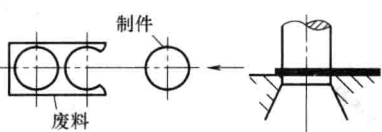
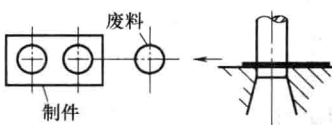
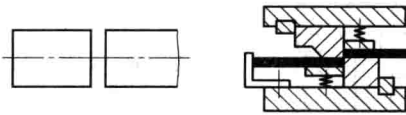
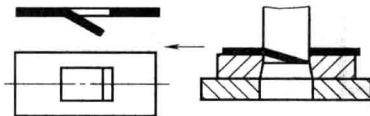
突出特点,因而在制造行业中占有重要地位,应用范围也十分广泛,在国民经济各工业部门中几乎都有冲压加工或冲压产品的生产。特别是在汽车、飞机、拖拉机、电机、电器、仪表、电信、化工、轻工行业及日用产品的生产中,冲压占有相当大的比重。

随着科学技术的进步和工业生产的迅速发展,冲压已成为当代工业生产的重要手段和发展方向之一,得到了世界各国的高度重视。

第一节 冲压工序的分类

根据通用的分类方法,可将冲压的基本工序分为材料的分离和成形两大类,每一类中又包括许多不同工序。分离工序见表 1-1,成形工序见表 1-2。

表 1-1 分离工序

| 工序 | 图例 | 特点及应用范围 |
|----|---|---------------------------------|
| 落料 |  | 用模具沿封闭轮廓冲切板料,冲下的部分为制件,其余部分为废料 |
| 冲孔 |  | 用模具沿封闭轮廓冲切板材,封闭轮廓以外为制件,冲下的部分是废料 |
| 剪切 |  | 用剪切或模具切断拔材,切断线不封闭 |
| 切口 |  | 在坯料上将板材部分切开,切口部分发生弯曲 |

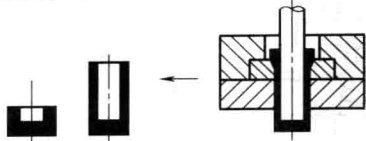
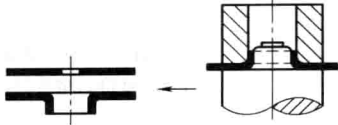
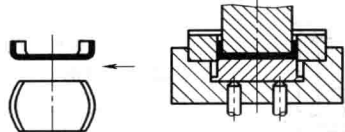
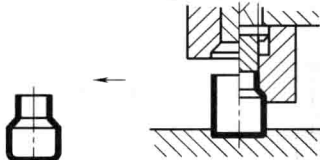
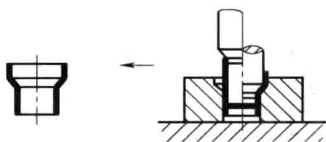
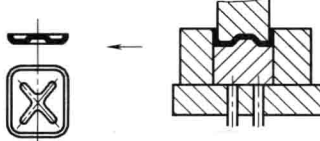
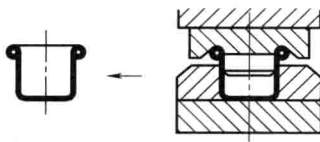
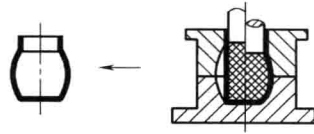
(续)

| 工序 | 图例 | 特点及应用范围 |
|------|----|--|
| 修边 | | <p>将拉深成形后的半成品边缘部分的多余材料切掉</p> |
| 剖切 | | <p>将半成品切开成两个或几个工件,常用于双冲压</p> |
| 管件冲孔 | | <p>管件无凹模冲孔时,因管件内无凹模支承,在冲孔部位易形成局部塌陷</p> |
| 管件剖口 | | <p>管件剖口质量的好坏主要取决于剖口凸模的几何形状参数</p> |

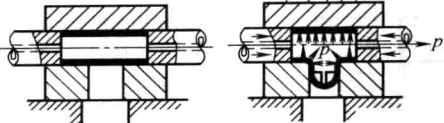
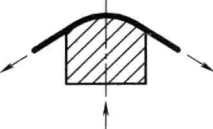

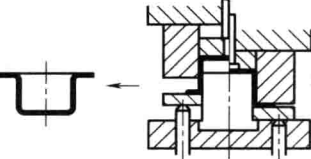

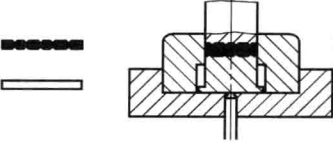
表 1-2 成形工序

| 工序 | 图例 | 特点及应用范围 |
|----|----|-------------------------------|
| 弯曲 | | <p>用模具使材料弯曲成一定形状</p> |
| 卷圆 | | <p>将板料端部卷圆</p> |
| 扭曲 | | <p>将平板毛坯的一部分相对于另一部分扭转一个角度</p> |
| 拉深 | | <p>将板料毛坯压制空心制件,壁厚基本不变</p> |

(续)

| 工序 | 图例 | 特点及应用范围 |
|------|---|--|
| 变薄拉深 |  | 用减小壁厚,增加工件高度的方法来改变空心件的尺寸,得到要求的底厚、壁薄的制件 |
| 翻边 |  | 将板料或工件有孔的边缘翻成竖立边缘 |
| |  | 将工件的外缘翻起圆弧或曲线状的竖立边缘 |
| 缩口 |  | 将空心件的口部缩小 |
| 扩口 |  | 将空心件的口部扩大,常用于管子 |
| 起伏 |  | 在板料或工件上压出加强筋、花纹或文字,在起伏处的整个厚度上都有变薄 |
| 卷边 |  | 将空心件的边缘卷成一定的形状 |
| 胀形 |  | 使空心件(或管料)的一部分沿径向扩张,呈凸肚形 |

(续)

| 工序 | 图例 | 特点及应用范围 |
|-------|---|--|
| 内高压成形 |  | 在管材中充入高压液体,使材料贴合模具成形 |
| 拉弯 |  | 在拉力与弯矩共同作用下实现弯曲变形,可得到精度较高的制品 |
| 翻卷成形 |  | 管材在轴向压力作用下,使管材口部边缘产生局部弯曲翻卷成形而得到要求的筒类双层管式零件 |
| 整形 |  | 把形状不太准确的工件校正成形 |
| 校平 |  | 将毛坯或工件不平的面或弯曲予以压平 |
| 压印 |  | 改变工件厚度,在表面上压出文字或花纹 |

第二节 冲压成形的变形力学特点与分类

在冲压成形时,可以把变形毛坯分成变形区和不变形区。随着变形过程的进展,变形区的位置也在变化。而不变形区可能是已经经历过变形的已变形区或是尚未参与变形的不变形区。当不变形区受力的作用时,叫做传力区。图 1-1 所示为冲压变形毛坯各区划分举例。

在冲压成形中,大多数情况下板材毛坯的厚度远小于它的板面尺寸,工具对毛坯的作用力通

常是作用于板坯的表面,而且数值不大的垂直于板面方向的单位压力可引起板面方向上足以产生塑性变形的内应力。由于垂直于板面方向上单位压力的数值远小于板面方向的内应力,所以大多数的冲压变形都可近似地当做平面应力状态来处理,还可认为在平面方向上作用的这两个主应力在厚度方向上的数值是不变的。如果板面内绝对值较大的主应力记为 σ_{ma} , 绝对值较小的主应力记为 σ_{mi} , 则比值 $\alpha = \frac{\sigma_{mi}}{\sigma_{ma}}$ 可表示板材冲压成形时的应力状态特点。 α 的变化范围是 $-1 \leq \alpha \leq 1$ 。

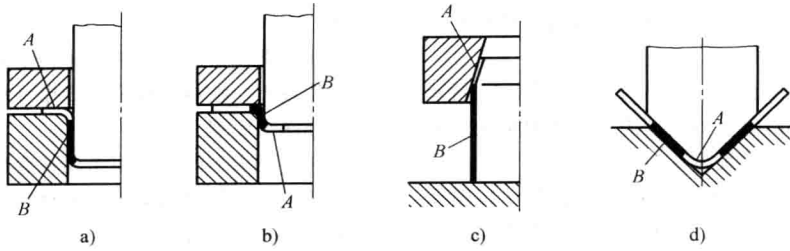


图 1-1 冲压变形毛坯各区划分举例

a) 拉深 b) 翻孔 c) 缩口 d) 弯曲
A—变形区 B—传力区

根据 α 的取值及板面内的应力 σ_{ma} 是拉应力还是压应力，板材冲压成形时变形区的应力状态可概括为四种基本类型（图 1-2）。

1) 拉-拉 ($\alpha \geq 0, \sigma_{ma} > 0$)，如图 1-2a、b 所示的两种均为拉应力，即胀形和翻孔工艺。

2) 拉-压 ($\alpha < 0, \sigma_{ma} > 0$)，如图 1-2c 所示的扩口变形，且切向拉应力的绝对值大于压应力的绝对值。

3) 压-拉 ($\alpha < 0, \sigma_{ma} < 0$)，如图 1-2d 所示的拉深变形，且凸缘变形区压应力的绝对值大于拉应力的绝对值。

4) 压-压 ($\alpha \geq 0, \sigma_{ma} < 0$)，如图 1-2e 所示的缩口为双向压应力。

按塑性变形体积不变条件

$$\epsilon_x + \epsilon_y + \epsilon_z = \epsilon_1 + \epsilon_2 + \epsilon_3 = 0 \quad (1-1)$$

若以 ϵ_{ma} 、 ϵ_{mi} 分别表示板面内绝对值较大与较小的主应变，其比值为

$$\beta = \epsilon_{mi} / \epsilon_{ma} \quad (1-2)$$

可用来表示板材成形时的应变状态特点，其变化范围是 $-1 \leq \beta \leq 1$ 。

由于塑性变形时的三个正应变分量不可能全部是同号的，并根据 ϵ_{ma} 与 ϵ_{mi} 的可能取值，板材成形时的应变状态亦可划分为四种基本类型（图 1-2）：

1) 拉-拉 ($\beta \geq 0, \epsilon_{ma} > 0$)，如图 1-2a、b 所示为胀形和翻孔变形，为双向拉应力，在变形中材料发生变薄现象。

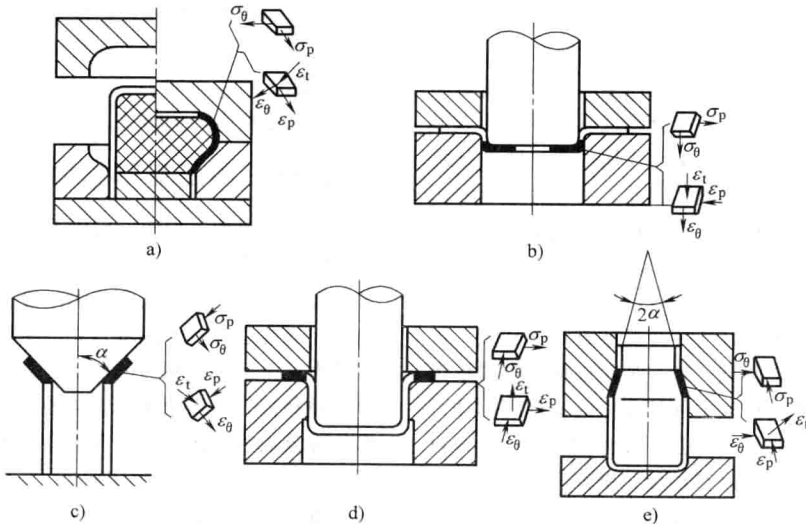


图 1-2 冲压成形基本应力应变状态及实例

a) 胀形 b) 翻孔 c) 扩口 d) 拉深 e) 缩口