



快乐冲压系列图书

# 快乐冲压

## ——冲压模具实用宝典

韩梅◎编著



用轻松的方式  
掌握冲压模具技术



机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS

快乐冲压系列图书

# 快乐冲压

——冲压模具实用宝典

韩 梅 编著



机械工业出版社

本书以全新的视角和幽默的笔触，将冲压、模具的理论丰富的实践经验、实用的工艺内容及日新月异的技术进步结合起来，并对一般冲压书籍较少涉及的模具验收部分及独特有效的降低冲压材料成本的方法进行了详细的阐述。本书与《快乐冲压——冲压工艺实用宝典》一书一并构成了比较完整的冲压工艺知识体系。

相信广大的冲压工程师，即将踏上工作岗位的冲压、模具专业的大学生和广大的冲压生产者会对此书有耳目一新的感觉，并获得意外的启迪。

### 图书在版编目（CIP）数据

快乐冲压. 冲压模具实用宝典/韩梅编著. —北京：机械工业出版社，2017.7

（快乐冲压系列图书）

ISBN 978-7-111-57124-7

I. ①快… II. ①韩… III. ①冲模—设计 IV. ①TG38

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2017）第 139200 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：孔 劲 责任编辑：孔 劲 刘本明

责任校对：樊钟英 封面设计：马精明

责任印制：李 昂

三河市宏达印刷有限公司印刷

2017 年 9 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm·29 印张·714 千字

0001—2500 册

标准书号：ISBN 978-7-111-57124-7

定价：99.00 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

服务咨询热线：010-88361066

读者购书热线：010-68326294

010-88379203

封面无防伪标均为盗版

网络服务

机工官网：[www.cmpbook.com](http://www.cmpbook.com)

机工官博：[weibo.com/cmp1952](http://weibo.com/cmp1952)

金书网：[www.golden-book.com](http://www.golden-book.com)

教育服务网：[www.cmpedu.com](http://www.cmpedu.com)

# 金色的秋实

韩 梅

在淡淡的墨香中，  
春天的种子悄然地萌动；  
在浅浅的笑靥里  
枯燥化为灵思的霓虹——

模具低下了笨重的头，  
将深沉的内涵簇拥；  
金属闪烁着熠熠的光泽，  
在冲压中舒展娇容。

书页一张张掠起了轻风，  
目光的焦距向前延伸：  
瞧！不远处那金色的海波，  
不就是秋天的果实在款款韵动？

# 前 言

本书作者是多年在冲压、模具生产第一线从事技术工作的高级技术人员，对实际生产中所需要的与冲压、模具相关的各类知识有着比较深刻的理解。

作者写作此书的目的是，就是要在理论和生产实际之间架起一座桥梁，将经典的专业知识、在一般书本上较少涉及的专业知识、从生产实际中积累的实用知识以及随时代日益发展的技术进步连接起来。

“快乐冲压”分为两册。第一册名为《快乐冲压——冲压工艺实用宝典》，内容涵盖冲压工艺涉及的冲压设备、冲压工位器具、冲压质量检验、冲压检具、冲压材料、冲压工时、冲压自动化、冲压规划、冲压经济分析、冲压操作安全等方面的内容。本书《快乐冲压——冲压模具实用宝典》，内容主要包括冲压理论、模具设计及其应用。书中有三个显著的特点：一是大量采用了生产中的实例，使理论内容变得容易理解；二是注重理论和实践的深度和广度，并从全新的角度加以论述；三是对技术人员的综合能力要求高，并对生产实际中非常需要的模具调试验收技术，以及节约冲压材料成本的秘诀等进行了详细的阐述。相信看过本书的读者，都会有与众不同的收获。

# 目 录

## 前言

<b>第 1 章 冲压基础</b> .....	1
1.1 冲压工序有哪些基本概念? .....	1
1.2 如何进行冲压工艺方案分析? .....	4
1.3 冲压成形应力应变有哪些特点? .....	8
1.4 成形极限图如何解读? .....	15
1.5 成形极限的影响因素是什么? .....	20
1.6 坐标网格如何应用? .....	24
1.7 冲压如何进行创新思维? .....	30
<b>第 2 章 冲裁</b> .....	34
2.1 如何进行冲裁受力分析? .....	34
2.2 冲裁间隙对冲裁有什么影响? .....	37
2.3 冲裁间隙怎样确定? .....	43
2.4 冲裁搭边如何确定? .....	46
2.5 冲裁模刃口尺寸如何计算? .....	49
2.6 模具安装孔径如何确定? .....	54
2.7 冲裁力和冲裁功如何计算? .....	56
2.8 如何降低冲裁力? .....	61
2.9 冲裁常见问题如何分析解决? .....	65
2.10 精密冲裁有什么特点? .....	68
2.11 高速冲裁有什么特点? .....	73
<b>第 3 章 拉深</b> .....	77
3.1 拉深的主要形状类型有哪些? .....	77
3.2 怎样进行拉深变形分析? .....	80
3.3 拉深过程中材料有什么变化? .....	82
3.4 什么是拉深系数? .....	85
3.5 怎样减小拉深系数? .....	88
3.6 其他形状零件拉深特点是什么? .....	90
3.7 压边力如何计算? .....	94
3.8 拉深力如何计算? .....	97
3.9 拉深功如何计算? .....	101
3.10 拉深力与凸模行程有什么关系? .....	103
3.11 拉深件毛坯尺寸如何确定? .....	104
3.12 怎样区分拉深和胀形? .....	107
3.13 汽车覆盖件成形有什么特点? .....	109
3.14 拉深成形出现问题如何进行 CAE 分析? .....	113
3.15 速度及润滑对冲压成形有什么 影响? .....	119
3.16 覆盖件拉裂和起皱易发生在哪些 部位? .....	124
3.17 拉深件有哪些质量要求? .....	129
3.18 什么是复合拉深法? .....	131
<b>第 4 章 弯曲</b> .....	136
4.1 弯曲变形有什么特点? .....	136
4.2 弯曲毛坯展开长度如何计算? .....	139
4.3 弯曲力如何计算? .....	142
4.4 怎样计算弯曲模工作部分尺寸? .....	144
4.5 复杂弯曲件怎样定工艺? .....	146
4.6 弯曲件的精度怎样确定? .....	149
4.7 弯曲回弹如何解决? .....	150
4.8 高强板弯曲回弹如何解决? .....	154
4.9 其他常见弯曲问题如何处理? .....	156
<b>第 5 章 翻边整形</b> .....	160
5.1 胀形有什么特点? .....	160
5.2 翻边如何分类? .....	163
5.3 翻边件尺寸有何要求? .....	165
5.4 翻孔的预制孔径如何确定? .....	169
5.5 翻边力如何计算? .....	171
5.6 翻边凸、凹模间隙如何确定? .....	171
5.7 如何确定翻边成形极限? .....	172
5.8 常见翻边质量问题有哪些? .....	178
<b>第 6 章 模具基础</b> .....	180
6.1 常用模具有哪些类型? .....	180
6.2 常用 JIS 尺寸公差与配合 .....	185
6.3 模具零件有什么配合及表面要求? .....	193
6.4 模具材料有什么特殊要求? .....	195
6.5 模具材料如何对照及选用? .....	201
6.6 模具钢常用哪些热处理? .....	207
6.7 模具压力中心如何确定? .....	212
6.8 模具高度设计怎样与设备配套? .....	215
6.9 模具价格如何估算? .....	218
6.10 什么是 CAD/CAM/CAPP/CAE? .....	225
6.11 模具如何维护和保养? .....	233



6.12	模具表面处理常用方法有哪些? .....	236	8.12	高强板对冲裁模有什么要求? .....	352
6.13	什么是模具的TD处理? .....	240	8.13	冲裁模废料回跳问题如何解决? .....	354
6.14	什么是模具的气相沉积技术? .....	244	8.14	冲裁常见问题与模具有什么关系? .....	356
6.15	模具如何进行激光处理? .....	247	<b>第9章 拉深模</b> .....	359	
<b>第7章 模具通用零部件</b> .....	251		9.1	拉深模如何分类? .....	359
7.1	模具主要由哪些部分组成? .....	251	9.2	拉深模工作部分如何确定? .....	362
7.2	模具主要标准件有哪些? .....	253	9.3	拉深模冲压方向如何确定? .....	367
7.3	模具出件标准装置有哪些类型? .....	256	9.4	为什么复杂拉深模要设工艺补充部分? .....	370
7.4	模具其他标准装置主要有哪一些? .....	259	9.5	复杂拉深模为什么要设拉深筋(槛)? .....	371
7.5	模具导向装置有哪些类型? .....	261	9.6	大型拉深模有哪些特殊的零部件? .....	376
7.6	模具起吊装置有哪些类型? .....	264	9.7	拉深常见问题与模具有什么关系? .....	378
7.7	冲压自动线模具的定位有什么特点? .....	268	9.8	中大型拉深模怎样减重? .....	383
7.8	可选型固定块有什么特点? .....	270	9.9	拉深模的托杆应该怎样分布? .....	385
7.9	模具紧固力如何计算及应用? .....	272	<b>第10章 弯曲翻边模</b> .....	387	
7.10	斜楔如何应用? .....	275	10.1	弯曲模工作部分有哪些类型? .....	387
7.11	斜楔的参数设计有什么要点? .....	281	10.2	卷圆模工作部分有哪些类型? .....	393
7.12	模具用弹性元件如何比较? .....	287	10.3	弯曲模有哪些主要类型? .....	397
7.13	模具弹簧如何分类? .....	288	10.4	U形件弯曲模为什么容易磨损? .....	400
7.14	模具弹簧的工作特性是什么? .....	292	10.5	翻边模有哪些类型? .....	403
7.15	聚氨酯弹簧的工作特性是什么? .....	297	10.6	包边模有哪些类型? .....	406
7.16	模具橡胶弹簧如何使用? .....	304	<b>第11章 模具验收</b> .....	409	
7.17	氮气弹簧应用在哪些模具上? .....	305	11.1	新制模具有怎样的工作流程? .....	409
7.18	氮气弹簧有什么安装和使用要求? .....	307	11.2	什么是模具招标文件? .....	411
7.19	氮气弹簧怎样选用? .....	313	11.3	模具制造技术协议有哪些要点? .....	417
7.20	模具加工精度和配合有什么要求? .....	316	11.4	中大型模具的铸件如何检验? .....	418
<b>第8章 冲裁模</b> .....	318		11.5	新模具进厂要做哪些工作? .....	420
8.1	冲裁模有哪些类型? .....	318	11.6	调试模具的主要项目有哪些? .....	423
8.2	冲裁标准件凸模主要类型有哪些? .....	324	11.7	调试模具的工艺要求有哪些? .....	427
8.3	冲裁凸模怎样进行外形设计及校核? .....	330	11.8	调试模具与设备不匹配怎么办? .....	428
8.4	不同处理的凸模特性如何比较? .....	333	11.9	模架的制造精度有什么要求? .....	433
8.5	冲头为什么容易损坏? .....	337	11.10	冲裁模如何进行静态检验? .....	436
8.6	冲裁标准件凹模的主要类型有哪些? .....	338	11.11	冲裁模如何进行动态检验? .....	438
8.7	冲裁凹模对外形尺寸有什么要求? .....	339	11.12	弯曲模如何进行静态检验? .....	440
8.8	凹模紧固件位置有什么要求? .....	341	11.13	弯曲模如何进行动态检验? .....	441
8.9	冲裁镶块如何拼装? .....	344	11.14	拉深模如何进行静态检验? .....	442
8.10	凸模和凹模如何固定? .....	347	11.15	拉深模如何进行动态检验? .....	444
8.11	卸料、推件及顶件装置有什么类型和特点? .....	350	11.16	如何鉴别零件质量问题的性质? .....	445
			11.17	调试模具如何把握“度”? .....	450
			11.18	节约冲压材料有什么秘诀? .....	451
			<b>参考文献</b> .....	458	

# 第1章 冲压基础

## 1.1 冲压工序有哪些基本概念？

冲压加工（冷冲压）是指在常温下，冲压设备通过对模具中的板料毛坯施加变形力，使板料在模具中产生塑性变形或分离，从而获得具有一定形状、尺寸和精度的产品的加工方法。



大家注意啦，上面的定义隐藏着冲压三要素呢！大家还要注意：冲压是塑性变形，不是弹性变形！

### 1. 冲压加工的特点

冲压加工具有以下优点：

- 1) 冲压是一种少切屑或无切屑、低耗、节能、环保、高效、成本低廉、操作简单的加工方法。
- 2) 冲压产品的质量和尺寸精度主要是由冲模保证的，受人为因素影响较小，稳定性好，互换性好。
- 3) 可制造薄壁、重量轻、刚性好、表面质量高、形状复杂的空间零件。
- 4) 生产效率高，高速冲床甚至可以达到每分钟数千件。
- 5) 便于大批量、大规模的生产，如在汽车行业、电子行业，冲压加工都有着广泛的应用。
- 6) 便于实现自动化。

冲压加工的缺点是：

- 1) 加工噪声较大，还伴随着一定的振动。
- 2) 有一定的操作危险性。

### 2. 冲压工序的基本概念

一个冲压件往往要经过数道工序才能完成，如图 1-1 所示。有关冲压工序的基本概念可见表 1-1。



咦？他们没有拉深，而是直接成形……



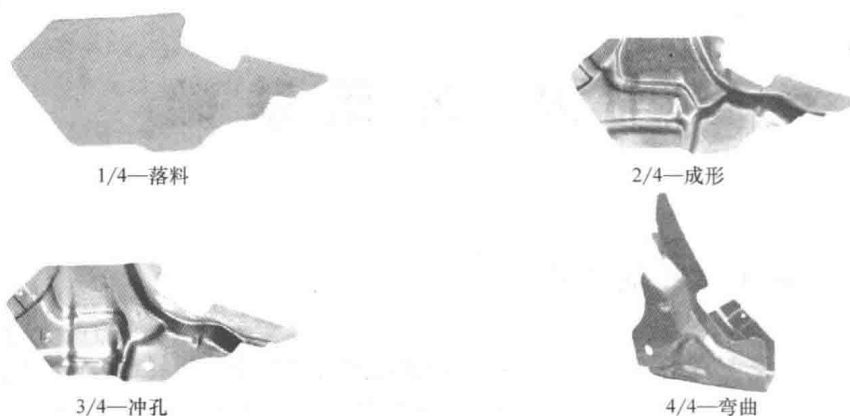


图 1-1 冲压工序示例

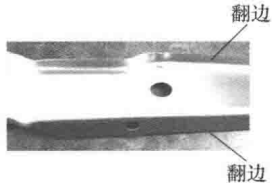
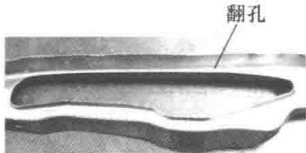
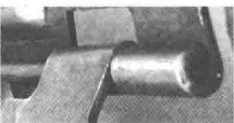
表 1-1 冲压工序的基本概念

工序名称	简 图	英文及缩写	特点及应用
剪切 (切断)		CUT/SH (shearing)	沿不封闭的直线分离,应用于冲压毛坯的下料、板料剪切成条料或形状简单零件的加工
冲裁 (落料)		BL (blanking)	沿封闭轮廓曲线实现分离,用以加工各种形状的平板形冲压件
冲孔		PRC (piercing)	在零件上加工各种形状的孔
切边 (修边)		TR (trimming)	在冲压半成品的平面或曲面上沿一定的轮廓曲线修切边缘

(续)

工序名称	简 图	英文及缩写	特点及应用
分离 (剖切)	 <p>模具剖切线      被剖切零件</p> <p>模具剖切线      被剖切零件</p>	SEP (separating)	把经过整体成形获得的工件,沿一定的轮廓剖切成两个或更多个冲压件
成形		FO (forming)	复合拉深、弯曲、翻边等,改变形状及尺寸的一种冲压工序
拉深 (拉延)		DR (drawing)	使平板料变成开口空心件的冲压工序。对难度大的拉深,可以采用多次拉深工序
整形	 <p>减小圆角</p>	RST (restricting)	用模具表面对冲压半成品的局部或整体施加法向接触压力,以提高零件的尺寸精度或获得细微而明显(如减小圆角半径)的过渡形状
压弯	 <p>压弯</p>	FIE (fiexural)	沿不封闭的已冲轮廓曲线进行压弯
弯曲		BE (bending)	用冲模将板料毛坯沿直线压弯成各种简单或复杂的形状

(续)

工序名称	简 图	英文及缩写	特点及应用
翻边		FL (flanging)	沿封闭或不封闭的轮廓曲线, 将毛坯或半成品的边缘翻成竖直边缘的成形方法
翻孔		BUR (burring)	沿封闭的孔轮廓将孔的边缘翻成竖直边缘的成形方法
卷边		HEM (hemming)	将毛坯或半成品的端头卷弯成小曲率半径的曲面形状

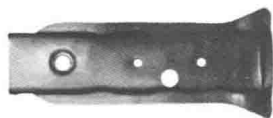
除了上述常见工序, 还有一些特殊工序, 如缩口 (用模具对空心件口部施加由外向内的径向压力, 使局部直径缩小)、胀形 (用模具对空心件施加由内向外的径向力, 使局部直径扩张) 等。复杂的汽车覆盖件常常是拉深和胀形的冲压复合体。

## 思 考

1. 下面两幅图为同一零件的不同工序, 请问各是什么工序?  
还缺什么工序?



图一



图二

2. 对生活中某冲压制件的工序进行推断。

## 1.2 如何进行冲压工艺方案分析?

一个冲压零件往往要经过几道工序完成, 在工艺上也往往有几种不同的方案。那么我们

选用冲压工艺方案的原则是什么?

### 1. 零件的质量要求

(1) 零件的精度特殊要求 图 1-2 所示的零件, 可以经过如下两道工序完成:

1/2—落料、冲两孔; 2/2—成形

在 1/2 工序中冲压的两个孔, 在 2/2 工序成形过程中, 受力不平衡, 发生了一定的变形, 不符合使用要求, 因此工艺上需改为: 1/3—落料; 2/3—成形; 3/3—冲两孔。



图 1-2 成形件示例 (1)

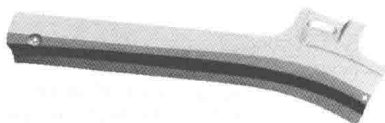


图 1-3 成形件示例 (2)

(2) 零件的外观特殊要求 图 1-3 所示的零件是内表件, 有外观要求, 如果工序为 1/2—落料, 2/2—成形, 在零件的三角区会产生一定的材料堆积、起皱, 影响表面质量, 因此冲压工序应为:

1/3—落料; 2/3—拉深; 3/3—切边、冲孔

或 1/2—拉深; 2/2—切边、冲孔

对一些无特殊质量要求的冲压件, 为了降低材料、设备、冲压的成本, 在工艺安排上可尽量避免拉深, 而采用直接成形。例如, 图 1-4 所示零件的实际冲压工序为两道:

1/2—落料; 2/2—成形

零件冲压后在局部略有小皱, 但是由于零件焊在内部看不见的位置, 无外观要求, 且基本上不影响后序的焊接装配, 因此能够满足产品的质量要求。

此类零件还有很多, 人们往往认为必须要经过拉深, 实际上成形的质量未必会明显降低, 如图 1-5 所示。如果在判断上有困难, 还可以借用 CAE 软件进行分析。

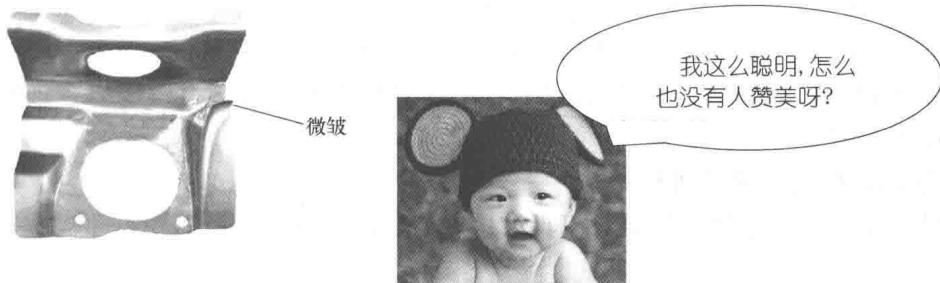


图 1-4 成形件示例 (3)

### 2. 模具的设备配套

设计冲压工序, 要考虑与已有或待购的设备参数配套, 并考虑设备负载的平衡。

比如图 1-6 中的对称零件, 零件料厚×长×宽约为 0.8mm×450mm×110mm, 工序设计方案有以下几种, 见表 1-2。

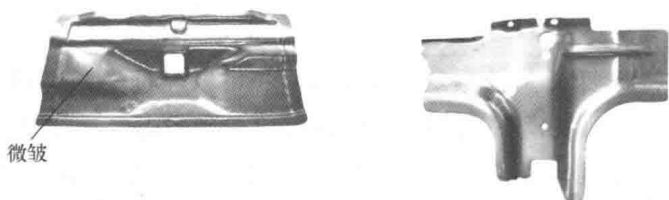


图 1-5 成形件示例 (4)

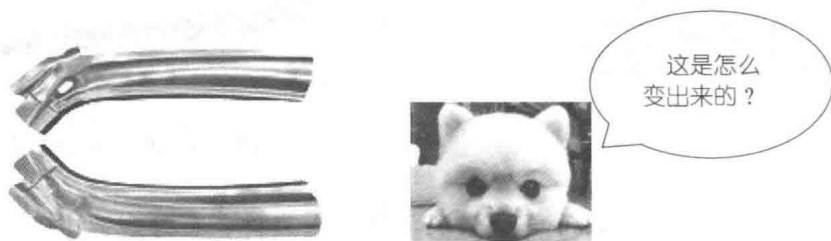


图 1-6 成形件示例 (5)

表 1-2 冲压工艺方案与使用设备的关系

方案	冲压方案内容	模具套数	使用设备/kN	备注
1	共用落料冲孔模	1	1600	要求设备滑块及台面尺寸较大
	左右件同模成形	1	2500	模具不用气垫
2	共用落料冲孔模	1	1600	要求设备滑块及台面尺寸较大
	左右件分模成形	2	1250 或 1600	由设备滑块及台面尺寸大小决定
3	左右件合模拉深	1	3150 或 4000	受气垫压力限制,不能用 2500kN 的设备
	切边、分离、冲孔	1	2500	

方案 3 如果没有合适的设备,就只能采取冲压方案 1 或方案 2。

如果 1600kN 的设备滑块及工作台尺寸较小,对尺寸较大的落料模难以合理安装,就要换更大的设备。

### 3. 冲压工序的复合化分析

正确设计冲压件的工序,需要对模具结构有清楚的了解,才能避免产生副作用。

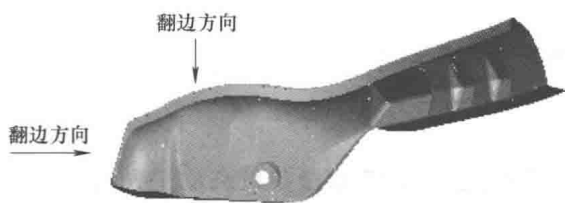


图 1-7 成形件示例 (6)



图 1-8 成形件示例 (7)

例如，图 1-7 所示的零件，采用一次性翻边，需正向翻边和斜楔侧翻。如果预用设备没有相应的模具运动空间，又没有更大的设备替换，一次性翻边就要分两道工序进行。图 1-8 所示的侧孔冲压也面临着同样的问题。

#### 4. 较复杂冲压工序分析示例

图 1-9 所示零件材料牌号是 DC04，料厚为 2.5mm，它是由哪几道工序组成的呢？

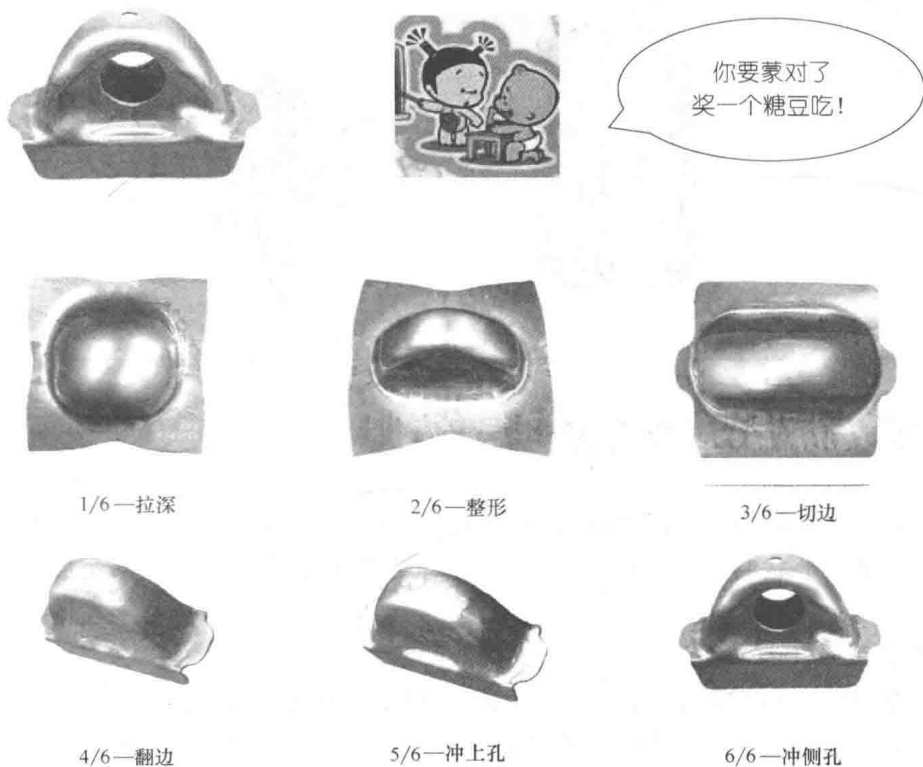


图 1-9 零件冲压工艺分析示例



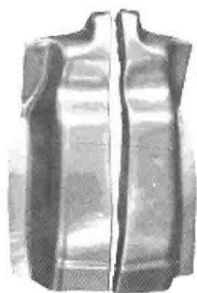
#### 5. 模具成本和冲压成本

《快乐冲压——冲压工艺实用宝典》中有专文讲述，这里不再赘述。



## 思 考

1. 对一个冲压件，采用拉深/切边与采用落料/成形，有什么区别？哪种冲压方式更经济？
2. 冲压工艺方案主要考虑哪几方面的内容？
3. 判断一下图示左右对称零件的工序内容：



### 1.3 冲压成形应力应变有哪些特点？

在冲压加工中，材料受不同方向的力后会发生形状各异的塑性变形。为了使冲压毛坯按预定的要求改变其形状与尺寸，需要分析了解毛坯各部分的受力情况、变形特点以及相互关系。

#### 1. 应力应变及相互关系

金属薄板塑性变形时的应力、应变状态，可用三个主应力  $\sigma_1$ 、 $\sigma_2$ 、 $\sigma_3$  和主应变  $\varepsilon_1$ 、 $\varepsilon_2$ 、 $\varepsilon_3$  来表示。它们按代数数值的大小次序排列，即  $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$  及  $\varepsilon_1 > \varepsilon_2 > \varepsilon_3$ 。

(1) 应力 物体受外因（受力、湿度、温度场变化等）而变形时，在物体内部各部分之间产生相互作用的内力，以抵抗这种外因的作用，并力图使物体从变形后的位置回复到变形前的位置。变形截面某一点单位面积上承受的附加内力称为应力。

与截面垂直的应力称为正应力或法向应力；与截面相切的应力称为剪应力或切应力。

(2) 极限应力 应力随着外力的增加而增长，对某种材料来说，应力可能达到的极限称为该种材料的极限应力。

(3) 应变 物体由载荷、温度、湿度等因素引起变形时，内部各点变形程度一般并不相同。用以描述一点处变形程度的力学量为该点的应变。衡量变形正六面单元体大小和形状变化的指标有切应变和工程应变（线应变）。

(4) 切应变 正六面单元体的两条相互垂直的棱边，在变形后的直角改变量，定义为切应变或角应变，用  $\gamma$  表示。切应变以直角角度减小为正，反之为负。

(5) 工程应变（线应变） 在直角坐标中所取正六面体单元时，三条相互垂直的棱边的长度在变形后的改变量与原长之比，定义为线应变。通常用  $e$  或  $\delta$  表示主应变，伸长为正，缩短为负。

$$\delta_1 = (l_1 - l_0) / l_0$$

$$\delta_2 = (l_2 - l_0) / l_0$$

$$\delta_3 = (t - t_0) / t_0$$

式中  $l_0, t_0$ ——分别为原来的长度和厚度；

$l_1, l_2$  和  $t$ ——分别为变形后的长度和厚度。

工程应变在弹性范围内近似于实际应变，但在塑性变形中误差较大，因此工程应变适用于变形程度较小的情况。

在变形程度较大的塑性变形中，一般采用实际应变（或称对数应变），即材料在塑性变形范围内的对数应变，通常用  $\varepsilon$  表示。



俺表面看起来挺老实，  
实际上……

实际应变与工程应变的关系为

$$\varepsilon_1 = \ln(1 + \delta_1)$$

$$\varepsilon_2 = \ln(1 + \delta_2)$$

$$\varepsilon_3 = \ln(1 + \delta_3)$$

工程应变不能叠加，而实际应变可以叠加。如由原长  $l_0$ ，经历  $l_a, l_b$  变成  $l_c$ ，即最后的总应变为

$$\varepsilon = \ln\left(\frac{l_a}{l_0}\right) + \ln\left(\frac{l_b}{l_a}\right) + \ln\left(\frac{l_c}{l_b}\right) = \ln\left(\frac{l_c}{l_0}\right)$$

体积不变的条件为

$$\varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3 = 0$$



嗯，这些基本概念还是要搞清楚，要不脑子就会变成浆糊啦！

## 2. 变形物体中某一点的应力及应变的几何表示方法

(1) 应力状态的描述 变形物体中某一点的应力状态需要用 9 个应力分量（3 个法向应力、6 个切应力）来描述。但如果采用主轴，可减少为只要 3 个主应力分量  $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ 。

板料成形中一般可设垂直于板面的主应力  $\sigma_3 = 0$ ，因此只要板面内两个主应力  $\sigma_1$ （代数值较大的一个）和  $\sigma_2$  就可描述。

设

$$\sigma_2 / \sigma_1 = \alpha$$

则  $\alpha$  称为该点的应力状态参数。在简单加载情况下， $\alpha$  值也为常数。

(2) 应变状态的描述 变形物体中某一点的应变状态需要用 9 个应变分量（3 个法向应变、6 个切应变）来描述。但如果采用主轴，可减少为只要 3 个主应变分量  $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3$ 。由塑性变形体积不变条件，得出：

$$\varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3 = 0$$

即 3 个主应变只有两个是独立的。一般规定板面内代数值较大的主应变为  $\varepsilon_1$ ，较小的



主应变为  $\varepsilon_2$ ，板厚方向的主应变为  $\varepsilon_3$ ，则在以  $\varepsilon_1$  和  $\varepsilon_2$  为坐标轴的直角坐标系中，可用 A (见图 1-10) 来表示在这种应变状态下的成形极限点。

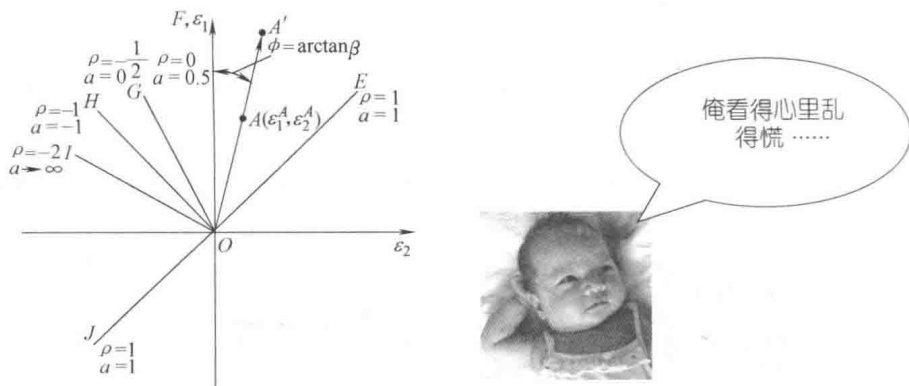


图 1-10 一点应变应力状态的几何表示方法

在简单加载的情况下（一次冲压成形一般近似于简单加载）， $\beta$  为常数。随着变形过程的进行，A 点的应变状态将沿着直线 OA 所示方向移动。OA 越长，表明 A 点的应变强度越大，达到 A' 时材料将破裂。

(3) 应变状态与应力状态的关系 变形板料中一点的应力应变是完全对应的，如已知某点的应变状态，用以下关系式（未考虑各向异性），就能求得该点的应力状态：

$$\sigma_i = K \varepsilon_i^n$$

式中 K——应变强化系数；

$\sigma_i$ 、 $\varepsilon_i$ ——等效应力和等效应变；

n——材料的应变强化指数。

常用变形方式中，其应力应变状态的特点和对应关系见图 1-10 和表 1-3。

表 1-3 常用变形方式的应力应变状态（对应于图 1-10）

线段	变形类型	应变状态特点	$\rho$ 值	应力状态特点	$\alpha$ 值
OE	平面等拉	$\varepsilon_1 = \varepsilon_2 > 0$ ; $\varepsilon_3 = -2\varepsilon_1 < 0$	1	$\sigma_1 = \sigma_2 > 0$	1
OF	平面应变	$\varepsilon_2 = 0$ ; $\varepsilon_1 = -\varepsilon_3 > 0$	0	$\sigma_2 = \sigma_1 / 2$	0.5
OG	单向拉深	$\varepsilon_1 > 0$ ; $\varepsilon_2 = \varepsilon_3 = -\varepsilon_1 / 2 < 0$	-0.5	$\sigma_1 > 0$ ; $\sigma_2 = 0$	0
OH	纯剪	$\varepsilon_1 = -\varepsilon_2$ ; $\varepsilon_3 = 0$	-1	$\sigma_1 = -\sigma_2$	-1
OI	单向压缩	$\varepsilon_2 < 0$ ; $\varepsilon_1 = \varepsilon_3 = -\varepsilon_2 / 2 > 0$	-2	$\sigma_1 = 0$ ; $\sigma_2 < 0$	$\infty$

### 3. 几种冲压变形的区域分区和示例

在冲压加工中，为了使毛坯按预定的要求改变其形状与尺寸，必须在毛坯内各个部分之间建立一个必要的受力关系。分析冲压过程中毛坯各部分在变形过程中的受力与变形特点、相互关系，以及相互影响和变化，是冲压变形分析的基础，也是冲压工艺过程和冲模设计的依据。

图 1-11 和表 1-4 是几种常见的冲压成形工艺中毛坯各部分变形分析的实例。

### 4. 冲压变形的基本形式

冲压变形的基本形式见表 1-5，而实际冲压时，受力情况要复杂得多，可能是多种变形