

高等职业教育机电类规划教材

LENGCHONGMO SHEJI

# 冷冲模设计

赵孟栋◎主编



 机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS

高等职业教育机电类规划教材

# 冷冲模设计

主 编 赵孟栋  
参 编 李坤宏 刘 峥  
主 审 王化培



机械工业出版社

本书系统介绍了冷冲模设计的原理、工艺计算及工艺分析,着重叙述了冲裁、弯曲、拉深三大冲压工艺,并对冲压材料、工艺分析、模具材料及提高模具寿命的措施等也作了一定的介绍。为了拓展读者视野,满足当今社会生产实际的需要,特增设了第八章汽车覆盖件模具设计简介。另外,每章末均设有思考题,便于读者自检。

本书以理论与实践相结合为编写指导思想,一切从实际出发,力求深入浅出,通俗易懂。本书适合各种层次模具专业的学生及职工短期训练班作教材使用,亦可供从事冲压工作的工程技术人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

冷冲模设计/赵孟栋主编. —北京:机械工业出版社, 2009. 3  
高等职业教育机电类规划教材  
ISBN 978-7-111-26221-3

I. 冷… II. 赵… III. 冷冲压-冲模-设计-高等学校:技术学校-教材 IV. TG385.2

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第014665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:郑丹 责任编辑:郑丹 刘远星

版式设计:霍永明 责任校对:张媛

封面设计:马精明 责任印制:乔宇

北京机工印刷厂印刷(兴文装订厂装订)

2009年3月第1版第1次印刷

184mm×260mm·18.25印张·452千字

0 001—4 000册

标准书号:ISBN 978-7-111-26221-3

定价:29.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

销售服务热线电话:(010) 68326294

购书热线电话:(010) 88379639 88379641 88379643

编辑热线电话:(010) 88379171

封面无防伪标均为盗版

# 前 言

本书是适用于机械类各层次模具专业的学生用书，也可供职工短期训练班作教材使用，同时可供从事冲压工作的工程技术人员作参考、自学之用。

本书重点介绍了冲裁、弯曲、拉深三大基本工序及相应模具，对其他冲压工艺及模具也作了概括介绍。本书在撰述冲压基本理论的基础上，较为详尽地提供了典型冲压工艺及模具设计的原理、方法、程序、实用参考及辩证应用，同时，还特别对冲裁合理间隙值与精密冲裁、各类拉深工艺及模具的设计计算等作了实用性的阐述。本书每章均有综合性、代表性的例题及相应的思考题，以便于读者加深理解和应用。

本书绪论由刘峥编写，第一、二、三、四、五章由赵孟栋编写，第六章由李坤宏编写，第七章由李坤宏、赵孟栋合编，第八章由刘峥、赵孟栋合编。全书由赵孟栋任主编，重庆工学院王化培任主审。

本书在撰写过程中特别注重体现教材的思想性、科学性、启发性、实用性和先进性的要求。为了适应当前社会工业生产发展的需要，特增设了第八章汽车覆盖件模具设计简介，这是基本冲压工艺知识的延伸与发展。

由于编写水平有限，书中欠妥之处在所难免，恳请读者批评指正。

编 者



# 目 录

前言		
绪论	1	
第一章 冷冲压基本知识	3	
第一节 冷冲压变形知识及工序分类	3	
第二节 冲压材料	8	
第三节 板料的剪裁	13	
第四节 冲压设备	14	
思考题	25	
第二章 冲裁工艺	26	
第一节 冲裁变形过程及质量分析	26	
第二节 冲裁间隙	28	
第三节 冲裁模刃口尺寸的计算	30	
第四节 排样	34	
第五节 冲裁力和压力中心的确定	39	
第六节 精密冲裁	44	
思考题	55	
作业题	56	
第三章 冲裁模具的结构及设计	57	
第一节 冲裁模的结构分析	57	
第二节 冲裁模零部件的设计与选用	60	
第三节 冲裁模的设计	81	
思考题	84	
第四章 弯曲工艺	85	
第一节 弯曲变形分析	85	
第二节 弯裂与最小弯曲半径	89	
第三节 弯曲回弹	91	
第四节 弯曲力的计算	94	
第五节 弯曲制件毛坯尺寸的计算	96	
第六节 弯曲制件的工艺性	98	
第七节 弯曲工序与弯曲模	100	
第八节 弯曲模工作部分尺寸的确定	105	
思考题	109	
第五章 拉深工艺及拉深模设计	111	
第一节 拉深工艺及质量分析	111	
第二节 拉深制件的结构工艺性	115	
第三节 旋转体拉深制件的工艺计算	116	
第四节 矩(方)形件拉深的工艺计算	130	
第五节 拉深力、压边力的计算及压力机的选用	149	
第六节 拉深模工作部分尺寸的计算	151	
第七节 常用拉深模具结构简介	153	
第八节 拉深润滑	155	
第九节 复杂形状制件拉深	156	
第十节 变薄拉深的工艺计算及模具	164	
思考题	168	
作业题	168	
第六章 其他冲压工艺及模具	169	
第一节 翻孔及翻边工艺	169	
第二节 胀形、起伏、校平、整形工艺	180	
第三节 其他冲模	184	
思考题	192	
第七章 冷冲压工艺规程的制订	193	
第一节 制订工艺规程的步骤	193	
第二节 工艺规程制订实例	194	
第三节 冲压安全生产	215	
第八章 汽车覆盖件模具设计简介	219	
第一节 汽车覆盖件的特点及要求	221	
第二节 典型覆盖件冲压工艺分析	222	
第三节 拉深件及拉深模设计	236	
第四节 修边模设计	252	
第五节 翻边模设计	268	
第六节 冲孔模设计简介	282	
思考题	287	
参考文献	288	

# 绪 论

冲压是金属压力加工方法之一，是建立在金属塑性变形的基础上，借助于压力机上的模具对板料施加压力，使板料产生分离或变形，从而获得所需形状和尺寸制件的工艺。板料、模具和设备是冲压加工的三要素。所谓的冲压模具（简称冲模），是指在冲压加工中将材料（金属或非金属）加工成制件（冲压成品）或半成品的一种工艺装备。

冲模在冲压中至关重要，如果没有先进合理的冲模、先进的冲压工艺，批量冲压生产就无法实现。只有将冲压工艺与模具、冲压设备和冲压材料相互结合才能得到高效率、高质量的冲压制件。

## 一、冲压加工的特点

与传统的机械加工相比较，冲压加工具有许多优点：

- 1) 冲压加工是少、无切屑加工方法之一，是一种低耗高效的加工方法。
- 2) 冲压件的尺寸精度由模具保证，所以制件互换性好，质量稳定。
- 3) 可以加工尺寸范围大、薄壁、形状复杂、表面质量好、刚性好的制件。
- 4) 生产效率高，易实现机械化和自动化。

当然，任何加工都不是十全十美的，冲压加工同时也具有加工时产生噪声和震动两种公害，并且操作者的安全事故时有发生。而随着科学技术的进步，特别是计算机技术的发展，机电一体化技术也在不断地进步，这些问题将得到完善和解决。

## 二、冲压加工的发展趋势

进入20世纪90年代以来，高新技术全面促进传统成形技术的改造及先进成形技术的形成和发展。21世纪的冲压技术将以更快的速度持续发展，发展的方向将更加突出“精、省、净”的需求，具体如下：

1) 冲压成形技术将更加科学化、数字化、可控化。科学化主要体现在对成形过程、产品质量、成本、效益的预测及可控程度。成形过程的数值模拟技术将在实用化方面取得很大发展，并与数字化制造系统很好地集成。人工智能技术、智能化控制将从简单形状制件成形发展到覆盖件等复杂制件成形，从而真正进入实用阶段。

2) 注重制件制造全过程，最大程度地实现多目标全局综合优化。优化将从传统的单一成形环节向制件制造全过程系统整体发展。

3) 对制件的工艺性和成形工艺的快速分析与评估能力将有大的发展，以便从制件初步设计甚至构思时起，就能针对制件的可成形性及所需性能的保证度，作出快速分析评估。

4) 冲压技术将具有更大的灵活性或柔性，以适应未来小批量多品种混流生产模式，以及市场多样化、个性化需求的发展趋势，加强企业对市场变化的快速反应能力。

5) 重视复合化成形技术的发展。以复合工艺为基础的先进成形技术不仅正在从制造毛



坯向直接制造制件方向发展，也正在从制造单个制件向直接制造结构整体的方向发展。

“冲压工艺及模具设计”是模具专业的主干课之一，是一门实用性很强的课程。目的是使学生通过本课程的学习和设计练习，能够掌握制件工艺分析，制订出合理的冲压工艺方案并设计出合理的模具。

冲裁、弯曲、拉深是冲压的三大主要工序，在生产中应用极广，也是本书介绍的重点内容。只要注意学习方法，加强实践环节，就一定能学好本门课程。

# 冷冲压基本知识

## 第一节 冷冲压变形知识及工序分类

### 一、冷冲压变形中的应力、应变特点

板料在冲压加工时的塑性变形，都是通过模具对毛坯施加的外力而引起的内力或由内力直接作用的结果，一定的力的作用方式和力的大小都对应着一定的变形。因此，为了研究和分析金属的塑性变形过程，首先必须了解毛坯内作用力和塑性变形之间的关系。

在一般情况下，板料毛坯在外力作用下，板料内各点的变形和受力情况都不相同，通常用点的应力状态来表示，如图 1-1a 所示。点应力状态有九个应力分量，即三个正应力和六个切应力。由于其中三对切应力是相等的（ $\tau_{xy} = \tau_{yx}$ ， $\tau_{xz} = \tau_{zx}$ ， $\tau_{yz} = \tau_{zy}$ ），实际上只需要六个应力分量，即三个正应力和三个切应力，就可确定此点的应力状态了。但用六个分量来表示一点的应力状态，对研究和分析问题是十分不便的。为了简化，可根据张量特征来重新考虑。因为任何一种应力状态，总可以找到相互垂直的平面，其面上仅有正应力而无切应力。如果选取这样的平面作为微分面，则此微分面又称为主平面，然后再选取三个轴分别垂直于主平面作为坐标轴，称为主轴（主方向）。这样，一个点的应力状态就变成了三个正应力，称为主应力，使问题大大简化了，如图 1-1b 所示。

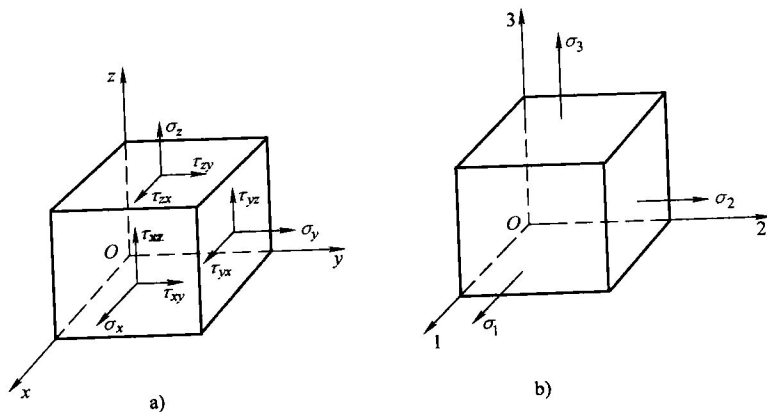


图 1-1 点应力状态

绝大多数板料在冲压成形过程中都不是单向受压或单向受拉，单向受拉或单向受压的应力与应变的关系完全可用硬化曲线的数学式来表示。但在受两向以上的应力作用时（复杂应力状态下），处于塑性变形状态的毛料变形区的应力与应变关系是相当复杂的，一般可用全应变理论公式和增量理论公式来表示（公式推导略）。



全应变理论应力-应变关系式为

$$\frac{\varepsilon_1 - \varepsilon_2}{\sigma_1 - \sigma_2} = \frac{\varepsilon_2 - \varepsilon_3}{\sigma_2 - \sigma_3} = \frac{\varepsilon_3 - \varepsilon_1}{\sigma_3 - \sigma_1} = \text{常数} \quad (1-1)$$

或

$$\frac{\varepsilon_1}{\sigma_1 - \sigma_m} = \frac{\varepsilon_2}{\sigma_2 - \sigma_m} = \frac{\varepsilon_3}{\sigma_3 - \sigma_m} = \text{常数} \quad (1-2)$$

式中  $\sigma_m$ ——平均应力,  $\sigma_m = \frac{\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3}{3}$ , 表示三向均匀受拉或三向均匀受压的程度。

全应变理论是表示塑性变形終了时的主应变与主应力之间的关系。而增量理论的应力、应变是表示塑性变形中某一瞬间应变增量与主应力之间的关系, 经过积分便可把变形过程的特点反映出来, 所以它更接近实际情况。

增量理论应力-应变关系式为

$$\frac{d\varepsilon_1 - d\varepsilon_2}{\sigma_1 - \sigma_2} = \frac{d\varepsilon_2 - d\varepsilon_3}{\sigma_2 - \sigma_3} = \frac{d\varepsilon_3 - d\varepsilon_1}{\sigma_3 - \sigma_1} = \text{常数} \quad (1-3)$$

或

$$\frac{d\varepsilon_1}{\sigma_1 - \sigma_m} = \frac{d\varepsilon_2}{\sigma_2 - \sigma_m} = \frac{d\varepsilon_3}{\sigma_3 - \sigma_m} = \text{常数} \quad (1-4)$$

以上的应力-应变关系式, 是对冲压加工中各种工艺参数进行计算的基础; 另一方面可利用它来对某些冲压成形过程中毛料的变形和应力的性质, 作出大致的分析和判断。下面是全应变理论公式(式(1-2))的应用举例。

1) 当  $\sigma_2 - \sigma_m = 0$  时, 必定有  $\varepsilon_2 = 0$ 。利用体积不变条件,  $\varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3 = 0$ , 可得  $\varepsilon_1 = -\varepsilon_3$ , 也就是主应力与平均应力相等方向上不发生塑性变形, 而另两个方向上的塑性变形数量相等, 方向相反。这种变形通常称为平面应变。由此可得到实践中的一个重要结论, 平面应变时必定是  $\sigma_2 = \sigma_m = \frac{\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3}{3} \left( \sigma_2 = \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2} \right)$ 。实际生产中, 宽板弯曲时, 宽度方向的变形为零, 即属此情况。

2) 当  $\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3 = \sigma_m$  时, 得  $\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = \varepsilon_3 = 0$ 。说明当三个主应力相等时, 毛料受三向等拉或三向等压的应力作用, 此时毛料不产生任何塑性变形, 仅是弹性变形存在。

3) 当  $\sigma_1 > 0$  且  $\sigma_2 = \sigma_3 = 0$  时, 毛料受单向拉应力作用。因为  $\sigma_1 - \sigma_m = \sigma_1 - \frac{\sigma_1}{3} > 0$ , 所以  $\varepsilon_1 > 0$ , 又由式(1-2)可得  $\varepsilon_1 = -2\varepsilon_2 = -2\varepsilon_3$ 。也就是说, 在单向受拉时, 拉应力作用方向上为伸长变形, 其他两方向上为数量相同的压缩变形, 而伸长变形为压缩变形的二倍。当  $\sigma_3 < 0$  且  $\sigma_1 = \sigma_2 = 0$  时, 毛坯受到单向压应力作用。因为  $\sigma_3 - \sigma_m = \sigma_3 - \frac{\sigma_3}{3} < 0$ , 故  $\varepsilon_3 < 0$ 。由全应变理论公式(1-2)可得  $-\varepsilon_3 = 2\varepsilon_2 = 2\varepsilon_1$ , 即毛坯在单向压应力作用时, 在压应力作用方向上的压缩变形等于其他两个方向上伸长变形的二倍。生产实际中的翻边、缩口等冲压工艺中毛料边缘的变形就分别属于此两种情况。

4) 当  $\sigma_1 = \sigma_2 > 0$  且  $\sigma_3 = 0$  时, 由全应变理论公式(1-2)可得  $\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = -\frac{1}{2}\varepsilon_3$ 。当毛料受两向等拉时, 在拉应力作用方向上为伸长变形, 而在另一个没有主应力作用的方向上为压



缩变形，其值为伸长变形的二倍。平板毛料胀形的中心就属此种变形状态。

5) 当  $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3 > 0$  时，由全应变理论公式 (1-2) 分析可知，最大拉应力  $\sigma_1$  方向上的变形为伸长变形，而在最小拉应力  $\sigma_3$  方向上的变形一定是压缩变形。分析结果：在两向受拉应力作用的胀形变形时，拉应力作用方向上的变形是伸长变形，而没有主应力作用的厚度方向上的变形是压缩变形，引起毛料厚度变薄。

6) 当  $0 > \sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$  时，由全应变理论公式 (1-2) 分析可知，在最小压应力  $\sigma_3$  (绝对值最大) 方向上一定是压缩变形，而在最大压应力  $\sigma_1$  (绝对值最小) 方向上的变形一定是伸长变形。

上述例子由应力-应变关系公式得出的推论，可以帮助我们对冲压变形中，毛料某些特定位置上的金属变形性质和应力状态作出一定的定性分析。这对我们在生产实际中分析制件的质量、确定制件的工艺和模具尺寸等有着重要的实用价值。

## 二、加工硬化对冲压变形的影响

冲压生产中经常用指数曲线来表示硬化曲线。

$$\sigma = C\varepsilon^n$$

式中  $C$ ——系数 (与材料塑性有关的系数)；

$n$ ——硬化指数， $C$  与  $n$  的值均取决于材料的种类和性能。

指数曲线  $\sigma = C\varepsilon^n$  与材料的实际硬化曲线比较接近。系数  $C$  与  $n$  值都可用拉伸试验方法得到。硬化指数  $n$  是表明材料冷变形硬化性能的重要参数，对板料在各种冲压成形中的冲压性能以及冲压制件的质量都有较为重要的影响。如图 1-2 所示是不同  $n$  值材料硬化曲线的对比。当硬化指数  $n$  大时，表示在冷变形过程中材料的变形抗力随着变形的进展而迅速地增大。因此， $n$  值大，材料的塑性变形稳定性较好，不易出现局部的集中变形和破坏，有利于增大伸长类变形的成形极限。

## 三、变形趋向性及控制

冲压过程中，成形毛料的各部分在同一模具作用下，可能产生不同形式的变形，即具有不同的变形趋向性。所以对各种冲压成形工艺方法进行的变形趋向性及控制的研究，对于确定工艺参数、制订工艺方案、设计模具、分析冲压制件质量等，是一个十分重要的课题。

一般冲压加工，毛料总是可以划分为变形区和传力区。冲压设备给出的变形力，通过凸模和凹模，并且进一步通过传力区施加于毛料的变形区，使其发生塑性变形，如图 1-3a 所示的缩口变形中毛料 A 部分是变形区，B 部分为传力区，C 部分为已变形区。在成形过程中，变形区和传力区也不是固定不变的，相反，它们尺寸在不断地变化。图 1-3b 所示是缩口过程刚刚开始，随着凹模下降，变形区不断扩大，传力区不断减小，金属则从传力区转移到变形区。当缩口发展到图 1-3a 时，变形区的尺寸大小不再发生变化。根据上述的变化，可以得出一个十分重要的结论：在冲压过程中，需要最小变形力的区是相对的“弱区”，如图 1-3a 中的 A 区。A 区发生塑性变形所需要的力是由模具通过 B 区获得的，所以 B 区又称

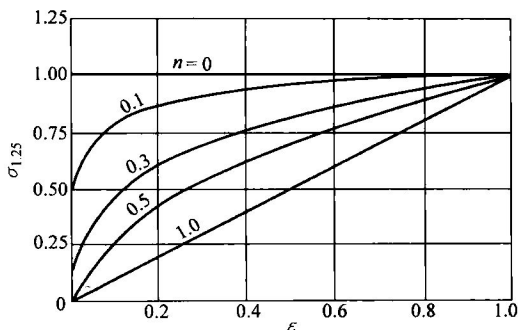


图 1-2  $n$  值不同时的硬化曲线

为传力区。传力区必定是“强区”。而弱区必先变形，变形区应为弱区的结论，在冲压生产中具有极重要的实用价值。如冲压工艺中极限变形参数（拉深系数、缩口系数）的确定、复杂形状制件冲压工艺过程的设计等，都是以这个道理为工艺分析和工艺计算依据的。

冷冲压变形实际上有两大类：第一类属“伸长类”变形，这种变形主要应力是拉应力，当拉应力超过极限值时造成材料破坏——拉裂；第二类属“压缩类”变形，这种变形主要应力是压应力，当压应力超过极限时造成材料的失稳起皱或局部材料堆聚。

#### 四、塑性变形的特征

毛料塑性变形的开始，实际上是以材料的屈服点  $\sigma_s$  为起始点的，从屈服点  $\sigma_s$  到破坏点  $\sigma_b$  范围内都属材料的塑性变形区域。但此塑性变形区是由两部分组成的。一部分为均匀塑性变形区，即  $\sigma_s$ - $\sigma_b$  区域，普通冷冲压制件的塑性变形都在此范围内完成。另一部分是  $\sigma_b$ - $\sigma_p$  区域，又称为集中塑性变形区，此变形会产生材料的变薄现象，最后到  $\sigma_p$  值点破裂，特殊的冲压工艺上也有应用。

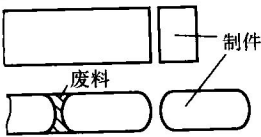
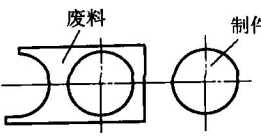
总之，塑性变形必具有如下几个特征：

- 1) 一般材料的塑性变形中必伴随着弹性变形，当外载荷消失时，弹性变形部分完全消失，而塑性变形部分保留下来，使变形体卸载后的形状和尺寸与加载时不完全相同。
- 2) 塑性变形是不可逆的，应力与应变之间没有一般的单值关系。
- 3) 塑性变形中，变形体内的质点有可能沿着不同方向流动时，每个质点总是沿着阻力最小的方向流动，称为最小阻力定律。
- 4) 实践证明：材料发生塑性变形时，变形前后的体积值基本是不变的，称为体积不变定律，即  $\varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3 = 0$ 。

#### 五、冷冲压工序分类

按普通常用方法可将冲压工序分为切断、落料、冲孔等，如表 1-1 所示。

表 1-1 冷冲压工序分类

变形种类	序号	工序名称	工序简图	工序说明
分离工序	1	切断		将板料沿不封闭的轮廓分离
	2	落料		沿封闭的轮廓将制件或毛坯与板料分离

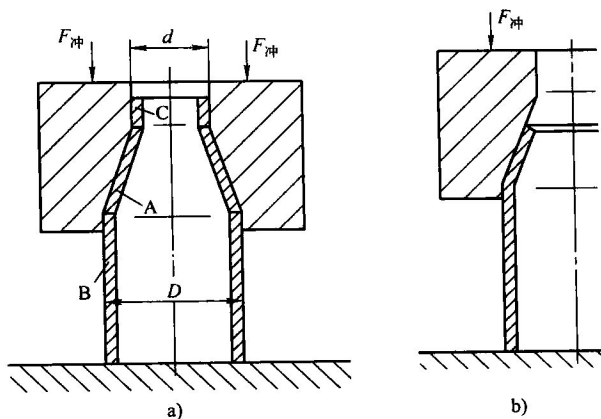
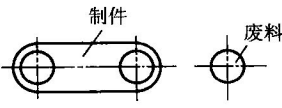
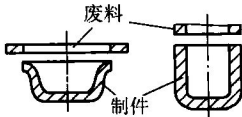
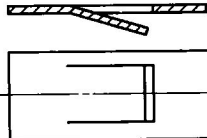

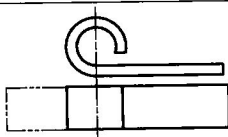

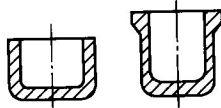
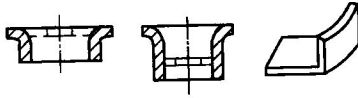
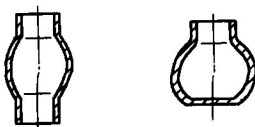






图 1-3 缩口变形毛坯各区的划分

(续)

变形种类	序号	工序名称	工序简图	工序说明
分离工序	3	冲孔		在毛坯或板料上, 沿封闭的轮廓分离出废料得到带孔制件
	4	切边		切去成形制件多余的边缘材料
	5	切口		在毛坯或制件上将板料部分切开, 切开部分发生弯曲
成形工序	6	弯曲		将毛坯或半成品制件沿弯曲曲线弯成一定角度和形状的制件
	7	卷圆		将板料的端部按一定的半径卷圆
	8	拉深		把毛坯拉压成空心体, 或者把空心体拉压成外形更小而板厚无明显变化的空心制件
	9	变薄拉深		把空心毛坯加工成侧壁厚度小于毛坯壁厚的薄壁制件
	10	翻孔翻边		在预先制好孔的半成品上或未经制孔的板料上冲制出竖立孔边缘的工序称为翻孔; 使毛坯的平面部分或曲面部分的边缘沿一定曲线翻起竖立直边的工序称为翻边
11	胀形		胀形是在双向拉应力作用下实现的变形, 可以成形各种空间曲面形状的零件	

(续)

变形种类	序号	工序名称	工序简图	工序说明
成形工序	12	起伏		在板料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与凹陷
	13	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
	14	缩口		在空心毛坯或管状毛坯的某个部位上使其径向尺寸减小
	15	整形		校正制件成准确的形状和尺寸

## 第二节 冲压材料

### 一、板料的基本性能与冲压成形的关系

冷冲压所使用的材料大多数是金属板料。要求金属板料不仅能满足冲压件的使用要求，还要满足冲压的工艺要求。具体地说，就是板料应具有良好的冲压成形性能，良好的表面质量、力学性能和化学成分，且板料厚度应符合国家标准。其中冲压成形性能是指能否用简便的工艺方法，高效率地利用板料生产出优质冲压件。这是冷冲压对材料的主要要求。

按国家有关标准规定的测试方法，可测得材料的一些基本性能指标。它能间接反映材料的冲压性能。现就其中几项说明如下：

#### 1. 屈服点和屈强比

材料的屈服点  $\sigma_s$  较小，材料容易屈服成形，且成形后回弹较小，贴模性和定形性较好。而且屈服伸长  $\delta_x$ （图 1-4）小，冲压表面质量好，喷漆、涂镀等后续工序质量也较好。但有时仅用  $\sigma_s$  还不能说明冲压成形性能，往往用材料的屈服点  $\sigma_s$  和抗拉强度  $\sigma_b$  的比值，叫做屈强比，综合反映材料成形性能。屈强比小，即  $\sigma_s$  相对较小， $\sigma_b$  相对较大，说明材料变形抗力低，而抵抗破坏的能力较强。一般来讲，较小的屈强比对板料各种成形工艺均有利。

#### 2. 伸长率

在材料单向拉伸试验中开始产生颈缩之前的伸长率，叫做均匀伸长率，用  $\delta_u$  表示。试样拉断之前的伸长率（包括  $\delta_u$ ）叫做总伸长率  $\delta_t$ 。 $\delta_u$  和  $\delta_t$  大，板料允许的塑料变形程度大，抗破裂性能较好。但当材料在颈

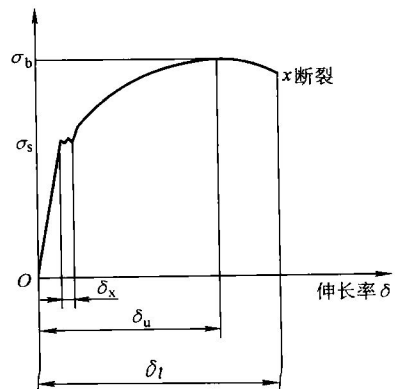


图 1-4 板料单向拉伸试验曲线



缩阶段后进行塑性变形时, 由于板料厚度不均匀性明显增大, 将影响制件质量, 故一般情况下, 冲压成形都是在板料的均匀变形范围内进行的, 所以  $\delta_u$  对冲压性能有较为直接的意义。

### 3. 应变硬化指数

表示材料加工硬化程度的一个指标叫做应变硬化指数, 简称硬化指数, 用  $n$  表示。 $n$  值能反映材料产生均匀变形的能力, 与冲压成形性能关系十分密切。 $n$  值大, 材料硬化效应大, 抗破裂性能强, 不仅可以提高板料的局部应变能力, 即增大失稳极限应变, 而且可使应变分布趋于均匀化, 提高板料成形时, 特别是以胀形为主的冲压成形的总体成形极限。

$n$  值的测定方法见国家标准 GB/T 5028—1999《金属薄板和薄带拉伸应变硬化指数 ( $n$  值) 试验方法》的有关规定。

### 4. 塑性应变比

由于金属结晶和板料轧制等原因, 板料的塑性会因方向不同而异, 称为板料的塑性各向异性。塑性应变比  $r$  是板料单向拉伸试验时宽度应变  $\varepsilon_b$  和厚度应变  $\varepsilon_t$  之比, 又称为板厚方向系数。 $r$  值由下式表示

$$r = \frac{\varepsilon_b}{\varepsilon_t} = \frac{\ln \frac{b}{b_0}}{\ln \frac{t}{t_0}}$$

式中  $b_0$ 、 $b$ 、 $t_0$ 、 $t$ ——变形前后试样的宽度与厚度。

$r$  值的测试方法详见 GB/T 5027—2007《金属材料薄板和薄带塑性应变比 ( $r$  值) 的测定》。

由于板料经轧制而成, 因而各方向的力学性能并不一致, 所以板料的塑性应变比常用加权平均值  $\bar{r}$  表示, 即

$$\bar{r} = \frac{1}{4}(r_0 + 2r_{45} + r_{90})$$

式中  $r_0$ 、 $r_{45}$ 、 $r_{90}$ ——拉伸试样相对于轧制方向的角度  $\theta$  (图 1-5) 分别为  $0^\circ$ 、 $45^\circ$ 、 $90^\circ$  时的塑性应变比。

冲压变形时, 一般都希望变形发生在板料的平面方向, 而厚度方向不希望发生过大变化。 $\bar{r}$  值大, 板料平面方向比板厚方向容易变形, 拉伸变形时可减小板料的变薄程度, 提高抗拉压失稳能力, 这对提高极限变形程度是有利的。

### 5. 凸耳参数

如上所述, 板料平面内由于各个方向呈现塑性各向异性而影响冲压成形性能。例如, 由于板平面方向性易使拉深件口部不齐, 形成凸耳 (图 1-6)。在低  $r$  值的角度方向, 板料变厚, 筒壁高度低; 在高  $r$  值的角度方向, 板料厚度变化不大, 故筒壁高度较高, 产生凸耳。

板平面各向异性值的大小可用凸耳参数  $\Delta r$  来表示, 即

$$\Delta r = \frac{1}{2}(r_0 + r_{90}) - r_{45}$$

$\Delta r$  值既与凸耳高度有关, 又与凸耳出现的位置有关。生产中需要增加工序将凸耳修去, 故希望  $\Delta r$  值小些。

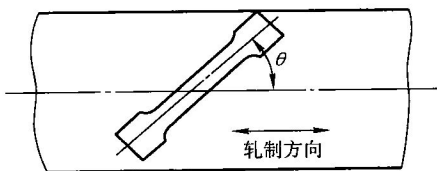


图 1-5 试样与轧制方向

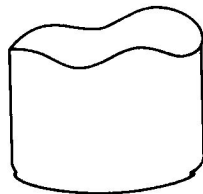


图 1-6 拉深件凸耳

除上述五项指标外，板料的晶粒度大小、表面粗糙度、夹杂物和偏析等也对材料冲压成形性能有所影响，限于篇幅，不再论述。

## 二、冲压成形性能试验方法与指标

上述基本性能试验结果虽能在一定程度上间接反映材料的冲压性能，但由于冲压变形受力复杂，试件条件有较多差别，因此它们不能准确地反映材料在每一种特定的工艺方法中的冲压性能。因此在测定或评价板料冲压成形性能时，经常采用模拟试验方法。常用模拟试验方法有五类：胀形成形性能试验、扩孔成形性能试验、拉深成形性能试验、弯曲成形性能试验，以及拉深-胀形复合成形性能试验。本节仅介绍其中两类。

### 1. 胀形成形性能试验

测定或评价板料胀形成形性能时，广泛应用杯突试验，又称爱利克辛试验。图 1-7 是 GB/T 4156—1984《金属杯突试验方法》示意图。将 70mm × 70mm 的方形板料压紧在凹模和压边圈之间，使受压部分的金属无法流动，然后用直径为 20mm 的球形凸模将板料压入凹模，板料中间部分受到两向拉应力而胀形，直至试件出现裂纹为止。此时冲头压入深度记作杯突试验值  $IE$ （又称为爱利克辛值）。 $IE$  值越大，胀形成形性能越好。

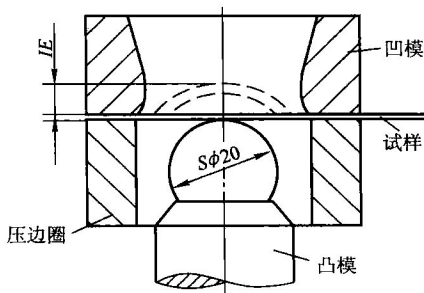


图 1-7 杯突试验 (GB/T 4156—1984)

我国有专业厂制造杯突试验机，因此测量此值较为方便，而且板料生产厂家给出了部分常用冲压材料的爱利克辛值，用户和工厂设计人员可查阅有关手册。

### 2. 拉深-胀形成形性能试验（福井试验）

此试验又称薄钢板锥杯试验，试验装置如图 1-8 所示。利用球形凸模和 60°锥形凹模对圆形毛坯进行试验，使毛坯成形为无突缘的球底锥形件。凸模压入深度实际包括拉深深度和胀形深度两部分。通过试验测出顶部刚出现裂纹时的  $CCV$  值。

$$CCV = \frac{1}{2} (D_{0max} + D_{0min})$$

此值综合反映了板料同时拉深和胀形的能力。 $CCV$  值越大，则板料的成形性能越好。

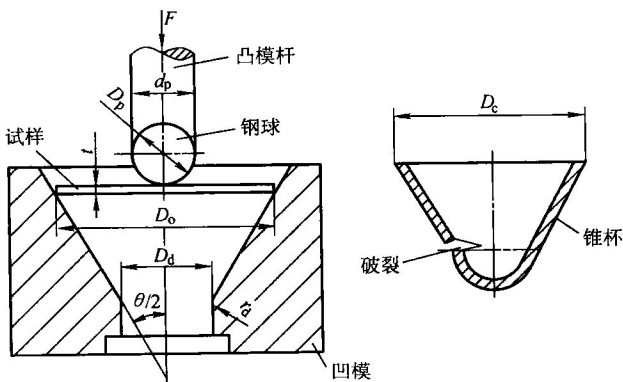


图 1-8 锥杯试验

除上述模拟试验外，对复杂制件，有时还采用网格法直接进行工艺试验。通过检查预先制在板料上的小圆网格的变形情况，便可确定制件的变形程度。对照成形极限图 (FLD)，借以作为改进工艺和模具设计的依据。

## 三、常用冲压材料

常用冲压材料一般可分为三大类：钢铁板料、非铁金属板料和非金属板料。

### 1. 钢铁板料



常用钢铁板料主要是普通碳素钢、优质碳素钢、电工硅钢和不锈钢等。对厚度在 4mm 以下的轧制薄钢板，国家标准 GB/T 708—2006 规定，按轧制精度分为 PTA、PTB 两级，其中 PTB 级为较高精度，PTA 级为普通精度。国家标准 GB/T 710—1991 规定，优质碳素结构钢薄钢板和钢带表面质量分为四组：

- I 特别高级的精整表面
- II 高级的精整表面
- III 较高级的精整表面
- IV 普通的精整表面

按拉深级别分为三级：

- Z 最深拉深
- S 深拉深
- P 普通拉深

国家标准规定，可以用如下方式在图样和冲压工艺文件上标记所用钢板牌号：

$$\text{钢板} \frac{1.0 \times 1000 \times 1500 - \text{GB/T } 708 - 2006}{20 - \text{II} - \text{S} - \text{GB/T } 710 - 1991}$$

上式表示钢材牌号为 20，尺寸为 1.0mm × 1000mm × 1500mm，表面质量组别为 II，拉深级别为 S 级。

近年来汽车工业开始越来越多地用高强度钢板（HSLA）代替低碳钢板制造汽车覆盖件，以减小车身质量，降低油耗，提高车辆寿命。

### 2. 非铁金属板料

非铁金属板料主要有黄铜板和铝板。常用牌号有 H68、H62、QSn4—4—2.5、1070A、1060、1200、2A01、2A02 及 2A12 等。

### 3. 非金属板料

非金属板料有纸板、橡胶板、塑料板和皮革等。

各种冲压材料的牌号、规格、力学性能及化学成分等性能参数可查表 1-2 ~ 表 1-7 或有关资料。

表 1-2 板料单向拉伸性能与冲压成形性能的关系

冲压成形性能		材料基本性能	主要影响参数	次要影响参数
抗 破 裂 性	胀形成形性能		$n$	$\bar{r}$ 、 $\sigma_s$ 、 $\delta_1$
	扩孔（翻边）成形性能		$\delta_1$	$\bar{r}$ 、强度和塑性的平面各向异性程度
	拉深成形性能		$\bar{r}$	$n$ 、 $\frac{\sigma_s}{\sigma_b}$ 、 $\sigma_s$
	弯曲成形性能		$\delta_1$	总伸长率的平面各向异性程度
贴模性			$\sigma_s$	$\bar{r}$ 、 $n$ 、 $\frac{\sigma_s}{\sigma_b}$
定形性			$\sigma_s$ 、 $E$	$\bar{r}$ 、 $n$ 、 $\frac{\sigma_s}{\sigma_b}$

注：E 为弹性模量。



表 1-3 各种钢板的单向拉伸性能 (轧制方向)

材 质	屈服点 $\sigma_s$ /MPa	抗拉强度 $\sigma_b$ /MPa	屈强比 $\sigma_s/\sigma_b$	均匀伸长率 $\delta_u$ (%)	总伸长率 $\delta_t$ (%)	$n$	$r$
含钛钢	141	293	0.48	29.6	51.5	0.26	2.06
铝镇静钢	161	307	0.52	28.7	47.4	0.23	1.88
沸腾钢	204	339	0.60	27.5	45.6	0.21	1.32
脱碳脱氮钢	139	286	0.49	31.4	51.1	0.25	1.72
热轧板 (50kg 级)	346	505	0.68	—	37.6	0.18	0.78

表 1-4 各种钢板的单向拉伸性能 (与轧制方向倾斜 45°)

材 质	屈服点 $\sigma_s$ /MPa	抗拉强度 $\sigma_b$ /MPa	屈强比 $\sigma_s/\sigma_b$	均匀伸长率 $\delta_u$ (%)	总伸长率 $\delta_t$ (%)	$n$	$r$
含钛钢	146	297	0.49	28.4	49.9	0.25	1.96
铝镇静钢	173	314	0.55	26.7	44.5	0.22	1.68
沸腾钢	214	340	0.63	25.9	42.1	0.21	1.05
脱碳脱氮钢	146	295	0.49	29.3	48.0	0.25	1.51
热轧板 (50kg 级)	360	503	0.71	—	36.7	0.19	0.95

表 1-5 各种钢板的单向拉伸性能 (与轧制方向垂直)

材 质	屈服点 $\sigma_s$ /MPa	抗拉强度 $\sigma_b$ /MPa	屈强比 $\sigma_s/\sigma_b$	均匀伸长率 $\delta_u$ (%)	总伸长率 $\delta_t$ (%)	$n$	$r$
含钛钢	148	293	0.51	29.2	51.6	0.25	2.85
铝镇静钢	169	301	0.56	27.5	46.6	0.22	2.60
沸腾钢	209	330	0.63	27.4	46.0	0.22	1.64
脱碳脱氮钢	146	285	0.51	30.0	51.9	0.25	2.25
热轧板 (50kg 级)	357	505	0.70	—	33.7	0.18	0.89

表 1-6 各种钢板的拉伸性能平均值与杯突试验值和锥杯试验值

材 质	屈服点 $\sigma_s$ /MPa	抗拉强度 $\sigma_b$ /MPa	屈强比 $\sigma_s/\sigma_b$	均匀伸长率 $\delta_u$ (%)	总伸长率 $\delta_t$ (%)	$n$	$\bar{r}$	$\Delta r$	杯突值 IE/mm	锥杯值 CCV/mm
含钛钢	145	295	0.49	28.9	50.7	0.25	2.21	0.50	12.3	35.5
铝镇静钢	169	309	0.55	27.4	45.8	0.22	1.96	0.56	11.6	36.7
沸腾钢	210	337	0.62	26.5	44.0	0.21	1.27	0.43	11.1	38.0
脱碳脱氮钢	144	290	0.50	30.0	49.8	0.25	1.74	0.48	12.2	36.8
热轧板 (50kg 级)	356	504	0.71	—	36.2	0.19	0.89	-0.11	—	—

表 1-7 高强钢板、不锈钢板和非金属板的  $n$ 、 $\bar{r}$  值

材 料	$n$	$\bar{r}$	材 料	$n$	$\bar{r}$
高强钢	0.10 ~ 0.18	0.9 ~ 1.2	黄铜 (70-30)	0.45 ~ 0.60	0.8 ~ 0.9
铁素体不锈钢	0.16 ~ 0.23	1.0 ~ 1.2	铝合金	0.20 ~ 0.30	0.6 ~ 0.8
奥氏体不锈钢	0.40 ~ 0.55	0.9 ~ 1.0	锌合金	0.05 ~ 0.15	0.4 ~ 0.6
纯铜	0.35 ~ 0.50	0.6 ~ 0.9	$\alpha$ -钛合金	0.05	3.0 ~ 5.0