



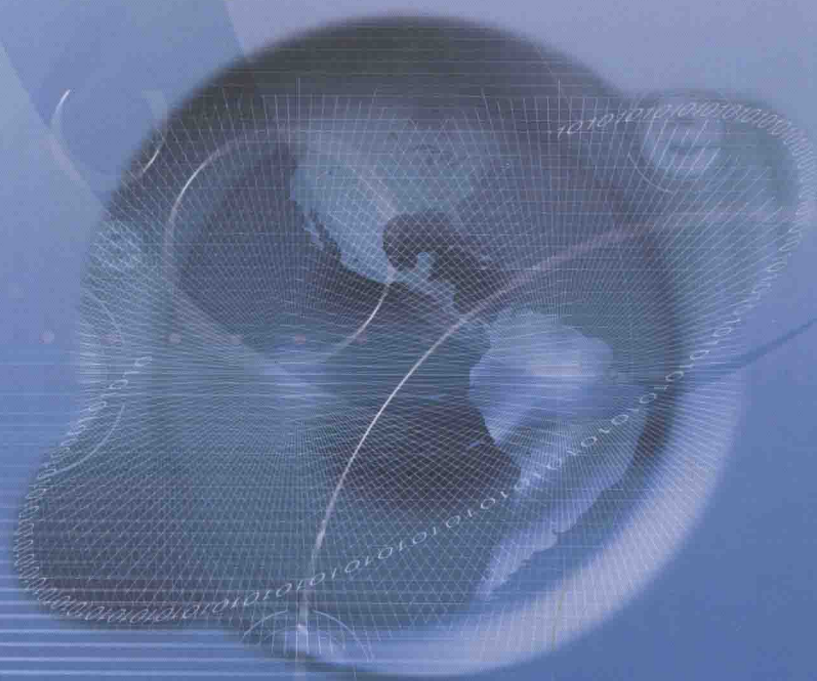
职业教育机电类专业规划教材
机械工业出版社精品教材

冷冲模设计

第3版

赵孟栋 主编

Lengchongmu Sheji



职业教育机电类专业规划教材
机械工业出版社精品教材

冷 冲 模 设 计

第 3 版

主 编 赵孟栋
参 编 史铁梁 虞学军



机 械 工 业 出 版 社

本书是在《冷冲模设计》第2版的基础上修订而成的。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。为便于教学,在每章后均设有思考题。

本书以理论与实践相结合为编写指导思想,注重实用性,力求深入浅出、通俗易懂。本书配套有《冷冲模设计指导》ISBN 978-7-111-05361-3。本书适合作为职业院校模具专业教材和企业岗位短期培训教材,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. —3版. —北京:机械工业出版社, 2012. 4

职业教育机电类专业规划教材

ISBN 978-7-111-37680-4

I. ①冷… II. ①赵… III. ①冷冲压—冲模—设计—中等专业学校—教材 IV. ①TG385.2

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第041138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:汪光灿 责任编辑:汪光灿 张云鹏

版式设计:霍永明 责任校对:张媛

封面设计:张静 责任印制:乔宇

北京机工印刷厂印刷(三河市南杨庄国丰装订厂装订)

2012年4月第3版第1次印刷

184mm×260mm·13.5印张·334千字

0 001—3 000册

标准书号:ISBN 978-7-111-37680-4

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

电话服务

网络服务

社服务中心:(010)88361066

门户网:<http://www.cmpbook.com>

销售一部:(010)68326294

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售二部:(010)88379649

读者购书热线:(010)88379203 封面无防伪标均为盗版

第3版前言

本书根据教育部教学改革要求,结合广大用书学校的反馈意见,在《冷冲模设计》第2版的基础上,再次修订而成。

本书重点介绍了冲裁、弯曲、拉深、成形等基本工艺及相应模具,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原理、方法、程序、实用参数及其辩证运用,还特别对冲裁合理间隙值与精冲、旋转体拉深与矩(方)形拉深工艺,以及组合式模具的设计、原理等作了实用性阐述。本书每章均配有综合性、代表性的例题,并设有相应的思考题,以便读者加深理解。

全书由赵孟栋主编并完成修订。全书在撰写过程中特别注重教材的思想性、科学性、启发性、适用性、先进性要求,但由于作者水平有限,书中欠妥之处在所难免,恳请广大读者批评指正。

编 者

2011年2月

第2版前言

本书是根据机械工业部机械类第四轮中等专业学校教材编审出版规划修订的教材，也可供其他专业的学员及从事冷冲压工作的人员参考。

本书重点地介绍了冲裁、弯曲和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原理、方法、程序、实用参数及其辩证应用，同时，还特别对冲裁合理间隙值与精冲、旋转体拉深与矩（方）形拉深工艺以及组合式模具的设计原理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。

本书绪论、第一、四、八章由成都市工业学校史铁梁编写，第二、三、五、七章由重庆机器制造学校赵孟栋编写，第六章、第七章第三节由重庆机器制造学校虞学军编写。全书由赵孟栋任主编，成都市工业学校蔡光耀任主审。另外，在本书审稿时，曾邀请重庆机器制造学校夏克坚、黄云清，沈阳机电工业学校刘福库，咸阳机器制造学校周晓明，贵州省机械工业学校李盛林，武汉机械工业学校张国俭，四川省自贡工业学校李持九等审阅，并提出了宝贵的意见，在此深表谢意。

本书在撰写过程中特别注重教材的思想性、科学性、启发性、适用性和先进性的要求，同时特增设了第八章冷冲模 CAD/CAM 技术简介，以此拓展读者视野，适应跨世纪模具工业的发展。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。

第1版前言

本书是根据“机械电子工业部机械类1986~1990年中等专业学校教材编审出版规划”及机械制造专业“冷冲模设计”教材大纲编写的教材。也可供其他专业的学员及从事冷冲压工作的人员参考。

本教材的参考教学时数为45学时。本书着重介绍了冲裁、弯曲、拉深、成形等基本工艺及相应模具，对其他冲压工艺及模具也作了概括介绍。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原理、方法、程序、实用参数及其辩证运用，还特别对冲裁合理间隙值与精冲、旋转体拉深与矩（方）形拉深工艺，以及组合式模具的设计原理等作了实用性阐述。每章均举有综合性、代表性的例题并设有相应的思考题，试图使本书能收到据书设计之功，广获实用受益之效。

本书绪论及第一章由成都市工业学校史铁梁编写；第二、三、五、七章由重庆机器制造学校赵孟栋编写；第四、六章由四川省机械工业学校杨智民编写。全书由赵孟栋任主编；成都市工业学校蔡光耀任主审。另外，在本书定稿时，曾请重庆机器制造学校黄云清、咸阳机器制造学校林家兰、沈阳机电工业学校刘福库、广西机械工业学校梁明初、上海机电工业学校薛源顺、四川机械工业学校王闰明、杭州机械工业学校汪昌镛、董峨，北京机械工业学校徐克、国营新兴仪器厂卢先友、成都市工业学校李兴东等审阅并提出了宝贵的意见，在此深表谢意！

本书在撰写过程中尽管注意了教材的思想性、科学性、启发性、适用性、先进性的“五性”要求，但由于编审水平有限，书中欠妥之处在所难免，恳请读者批评指正。

编 者

绪 论

冷冲压是金属塑性加工中的一种常用的加工工艺。它是利用模具在压力机的作用下,使金属板料产生分离或变形,以获得一定形状和尺寸的零件(以下统称制件)的加工方法。由于板料冲压大部分在常温下进行,故通称为冷冲压。

冷冲压是一种既传统而又不断发展进步的先进加工工艺。随着现代科技的高速发展,以及新技术、新工艺、新设备、新材料不断涌现,冷冲压技术也得到了不断的革新和发展。

与一般机械加工相比,冷冲压具有如下优点。

- 1) 金属板料经冲压变形后,其强度、刚度都得到提高,它能使较薄的板料制成尺寸大、重量轻、强度及刚度较高的产品制件。
- 2) 冷冲压是一种少、无切削屑的加工方法,可以获得合理的材料流线分布和较高的材料利用率。
- 3) 冷冲压加工出来的制件精度较高,尺寸稳定,互换性好。
- 4) 材料在模具和压力机的作用下,能获得其他机械加工方法难以加工或无法加工的形状十分复杂的制件。
- 5) 操作简单、生产率高,生产过程中便于实现机械化、自动化。
- 6) 在大批量生产条件下,冲压制件的成本相当低廉。

由于冷冲压在技术上和经济上有独到之处,因而在现代生产中占有重要的地位,特别在汽车、仪器仪表和日用五金用品中,冷冲压制品占有很大的比例。冷冲压正朝着 CAD/CAM/CAE 技术方向发展。模具制造大量采用了 CNC 机床加工,加工精度已达 $1\mu\text{m}$ 级。

目前先进工业国家正在研制新型高效模具,以满足冲压生产的需要。高效模具是指精度高、效率高、寿命长、功能全的冷冲压模具。超大型、超小型、精密多工位级进模具等都代表着现代的模具先进水平。

模具的标准化也在不断发展提高,使模具零部件的生产实现专业化、商品化,从而大大降低了模具的成本和制造周期。美国、日本等先进工业国模具标准化生产程度已超过 90%,模具制造厂只需要设计制造模具的工作零件,其他零件均可从模具标准件厂选购,使生产效率大幅度提高。

“冷冲模设计”是一门从生产实践中发展起来,又直接为生产服务的学科。在学习时不但要注意学习系统的理论,而且要注意联系生产实际,重视实训、实习环节。学习时要特别注意以下方面:

- 1) 掌握塑性变形的基本概念,特别是应力与塑性变形的关系,将有利于对冲压工艺的学习。
- 2) 冲裁、弯曲、拉深是冷冲压的三大主要工序,在生产中应用广泛,也是本课程的重



点内容。

3) 虽然冲压工序种类繁多,但不同工序间有相似的地方,在学习时可以以各工序的变形特点和工艺设计为突破口,其他问题就迎刃而解了。

4) 本课程学习的最终目标是要读者设计出能用于生产实际的冷冲模。因此在学习时要特别注意各工序的设计计算、参数选用和各工序模具的结构特征。

目 录

第 3 版前言	
第 2 版前言	
第 1 版前言	
绪论	1
第一章 冷冲压基本知识	3
第一节 塑性变形知识及冷冲压工艺分类	3
第二节 冲压材料	8
第三节 板料的剪裁	11
第四节 冲压设备	12
思考题	22
第二章 冲裁工艺	23
第一节 冲裁变形过程及质量分析	23
第二节 冲裁间隙	25
第三节 冲裁模刃口尺寸的计算	27
第四节 排样	31
第五节 冲裁力和压力中心的确定	36
第六节 精密冲裁	41
思考题	52
第三章 冲裁模具的结构及设计	54
第一节 冲裁模的结构分析	54
第二节 冲裁模零部件的设计与选用	57
第三节 冲裁模的设计	78
思考题	81
第四章 弯曲工艺	82
第一节 弯曲变形分析	82
第二节 弯裂与最小弯曲半径	85
第三节 弯曲中的回弹	87
第四节 弯曲制件的工艺性	91
第五节 弯曲力计算	93
第六节 弯曲制件毛坯尺寸的计算	94
第七节 弯曲工序与弯曲模	96
第八节 弯曲模工作部分尺寸的确定	100
思考题	105
第五章 拉深工艺及拉深模设计	106
第一节 拉深工艺及质量分析	106
第二节 拉深制件的结构工艺性	110
第三节 旋转体拉深制件的工艺计算	111
第四节 矩(方)形制件拉深的工艺计算	125
第五节 拉深力、压边力的计算及压力机的选用	144
第六节 拉深模工作部分尺寸的计算	146
第七节 常用拉深模具结构简介	148
第八节 拉深润滑	150
第九节 复杂形状制件的拉深工艺	151
思考题	159
第六章 其他冲压工艺及模具	161
第一节 翻孔及翻边工艺	161
第二节 胀形和起伏	172
第三节 校平和整形	174
第四节 其他冲模	176
思考题	183
第七章 冷冲压工艺规程的制订	184
第一节 制订工艺规程的步骤	184
第二节 工艺规程制订实例	185
第三节 冲压安全生产	206
思考题	209
参考文献	210

绪 论

冷冲压是金属塑性加工中的一种常用的加工工艺。它是利用模具在压力机的作用下,使金属板料产生分离或变形,以获得一定形状和尺寸的零件(以下统称制件)的加工方法。由于板料冲压大部分在常温下进行,故通称为冷冲压。

冷冲压是一种既传统而又不断发展进步的先进加工工艺。随着现代科技的高速发展,以及新技术、新工艺、新设备、新材料不断涌现,冷冲压技术也得到了不断的革新和发展。

与一般机械加工相比,冷冲压具有如下优点。

- 1) 金属板料经冲压变形后,其强度、刚度都得到提高,它能使较薄的板料制成尺寸大、重量轻、强度及刚度较高的产品制件。
- 2) 冷冲压是一种少、无切削屑的加工方法,可以获得合理的材料流线分布和较高的材料利用率。
- 3) 冷冲压加工出来的制件精度较高,尺寸稳定,互换性好。
- 4) 材料在模具和压力机的作用下,能获得其他机械加工方法难以加工或无法加工的形状十分复杂的制件。
- 5) 操作简单、生产率高,生产过程中便于实现机械化、自动化。
- 6) 在大批量生产条件下,冲压制件的成本相当低廉。

由于冷冲压在技术上和经济上有独到之处,因而在现代生产中占有重要的地位,特别在汽车、仪器仪表和日用五金用品中,冷冲压制品占有很大的比例。冷冲压正朝着 CAD/CAM/CAE 技术方向发展。模具制造大量采用了 CNC 机床加工,加工精度已达 $1\mu\text{m}$ 级。

目前先进工业国家正在研制新型高效模具,以满足冲压生产的需要。高效模具是指精度高、效率高、寿命长、功能全的冷冲压模具。超大型、超小型、精密多工位级进模具等都代表着现代的模具先进水平。

模具的标准化也在不断发展提高,使模具零部件的生产实现专业化、商品化,从而大大降低了模具的成本和制造周期。美国、日本等先进工业国模具标准化生产程度已超过 90%,模具制造厂只需要设计制造模具的工作零件,其他零件均可从模具标准件厂选购,使生产效率大幅度提高。

“冷冲模设计”是一门从生产实践中发展起来,又直接为生产服务的学科。在学习时不但要注意学习系统的理论,而且要注意联系生产实际,重视实训、实习环节。学习时要特别注意以下方面:

- 1) 掌握塑性变形的基本概念,特别是应力与塑性变形的关系,将有利于对冲压工艺的学习。
- 2) 冲裁、弯曲、拉深是冷冲压的三大主要工序,在生产中应用广泛,也是本课程的重



点内容。

3) 虽然冲压工序种类繁多,但不同工序间有相似的地方,在学习时可以以各工序的变形特点和工艺设计为突破口,其他问题就迎刃而解了。

4) 本课程学习的最终目标是要读者设计出能用于生产实际的冷冲模。因此在学习时要特别注意各工序的设计计算、参数选用和各工序模具的结构特征。

冷冲压基本知识

第一节 塑性变形知识及冷冲压工艺分类

一、塑性变形知识

1. 主应力和主应变

(1) 应力和应变 在外力作用下, 物体内部各质点之间会产生相互作用的力, 称为内力。单位面积上的内力称为应力。应力有正应力和切应力, 正应力用 σ 表示, 切应力用 τ 表示。

当物体受外力和内力作用时, 则会发生变形。物体的变形可用应变来表示。与应力类似, 应变有正应变和切应变。正应变用 ε 表示, 切应变用 γ 表示。

(2) 点的应力状态 为研究变形体各点的内力和变形状态, 就必须研究各点的应力状态和应变状态, 以及它们之间的关系。点的应力状态通过在该点所取的单元体上相互垂直各个表面上的应力来表示, 一般可沿坐标方向将这些力分解为 9 个应力分量, 其中包括 3 个正应力和 6 个切应力, 如图 1-1a 所示。

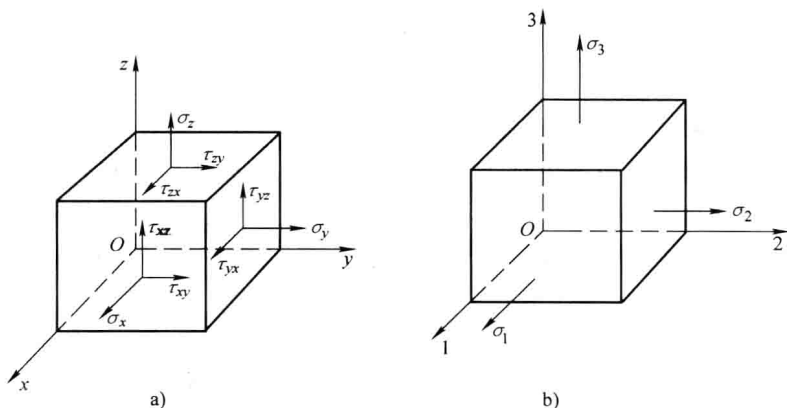


图 1-1 点的应力状态

(3) 主应力和主应力图 图 1-1a 虽可以表示任意一点的应力状态, 但由于有 9 个应力分量, 对研究和分析问题十分不便。为使问题简单化, 我们用另一种方式表示点的应力状态。对任何一种应力状态来说, 总存在这样一组坐标系, 使得单元体各表面上只出现正应力, 而没有切应力 (如图 1-1b 所示)。这三个正应力就称为主应力, 用主应力表示的点应力状态的图形称为主应力图, 其可能的主应力图有图 1-2 所示的 9 种。对一点的应力状态来说, 3 个主应力的方向和大小仅决定于该点的受力情况, 而与坐标轴的选择无关。但是, 如

果坐标轴选择恰当,即可简化问题的分析及计算。

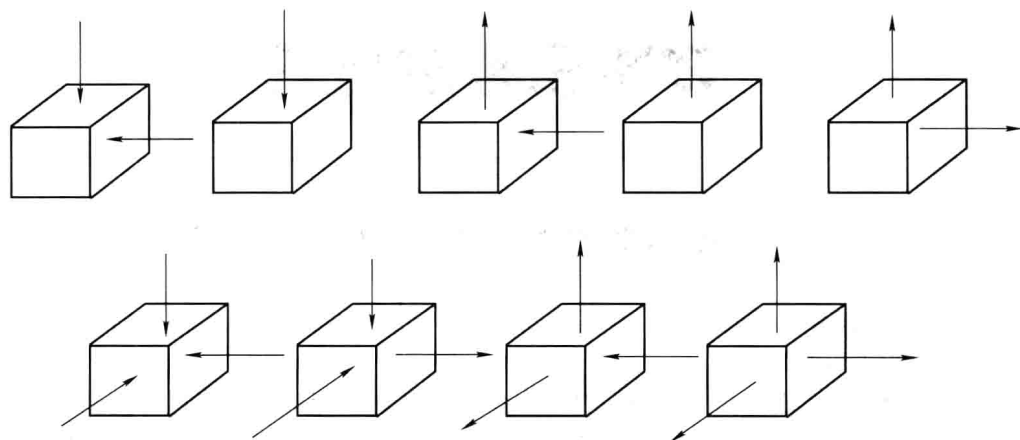


图 1-2 主应力图

(4) 主应变和主应变图 点的应变状态通过单元体的变形表示,与应力状态类似,也可以用主应变图来表示点的应变状态,其可能的主应变状态仅有图示三种状况,如图 1-3 所示。

主应力图和主应变图对定性分析塑性变形有很大帮助。

2. 塑性的概念

(1) 塑性与塑性变形 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。

不同材料的塑性不同,即使同一种材料在不同的变形条件下,也会出现不同的塑性。应力状态不同,材料表现的塑性也不一样。例如,铅通常具有极好的塑性,但在三向等拉伸应力作用下,却像脆性材料一样地破坏,而不产生任何塑性变形。又如,极脆的大理石,在三向压应力作用下,有可能产生相当大的塑性变形。

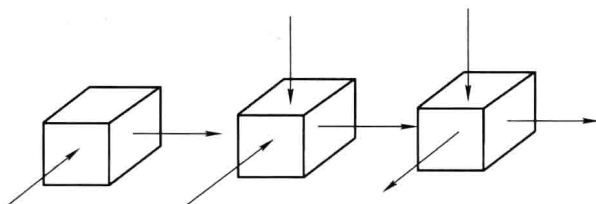


图 1-3 主应变图

在外载荷作用下物体发生永久性的变形称为塑性变形。塑性变形有如下特点:

- 1) 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。
- 2) 一般材料在塑性变形之前及塑性变形时,都伴随有弹性变形。当外载荷去掉后,塑性变形部分保留下来,而弹性变形完全消失,使得变形体卸载后的形状和尺寸与加载时不完全一样。
- 3) 实践证明,物体发生塑性变形时,其体积基本保持不变,即 $\varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3 = 0$ 。
- 4) 在塑性变形中,当变形体的质点有可能沿不同方向移动时,每个质点总是沿其阻力最小的方向移动,称此为最小阻力定律。

(2) 塑性与变形抗力 进行塑性加工时,作用在工具表面单位面积上变形力的大小称为变形抗力。塑性和变形抗力是两个不同的概念。简单地说,塑性反映材料塑性变形的能力;变形抗力反映塑性变形的难易程度。一般来说,塑性好,变形抗力低,对冲压变形有



利。但材料的塑性好，并不见得变形抗力就低。例如，纯铁在三向压应力作用下有很好的塑性，但变形抗力可能很高。

(3) 影响金属塑性的主要因素

1) 变形时材料的内部因素。金属材料塑性变形的的基本方式是滑移和孪生变形，其中，滑移是最主要的方式。一般说，面心立方和体心立方金属滑移系较多，因此，它们比密排六方金属的塑性好；当金属中溶入碳、合金元素和杂质时，便会形成固溶体或第二相，使金属的强度、硬度增高，而塑性和韧性下降；金属晶粒越细密均匀，一定体积内的晶粒数目必然越多，同样的变形量，分散在更多的晶粒内进行，使变形均匀，金属塑性改善，但变形抗力却会增大。例如纯铁（碳的质量分数小于 0.0218%），其显微组织为单相铁素体，塑性好，变形抗力低。又如碳钢，因其碳的质量分数超过铁的溶碳能力，多余的碳便与铁形成渗碳体，而渗碳体硬度很高，塑性几乎为零，使碳钢的塑性比纯铁大为降低。

2) 变形时的外部条件。变形温度、变形速度、应力状态对塑性都有影响，对于冷冲压而言，应力状态影响最大。在应力状态中，压应力个数越多，数值越大，则金属塑性越好；反之，拉应力个数越多，数值越大，则金属的塑性越差，过大的拉应力将使板料破裂。

(4) 塑性的评定 为了衡量金属塑性，需要有一种数量上的指标，这就是塑性指标。塑性指标以材料开始破坏时的塑性变形量表示，并可以借助各种试验方法来确定。对应于拉伸试验的塑性指标，可用伸长率 δ 和断面收缩率 ψ 表示。

(5) 加工硬化 对于常用的金属材料，在正常温度下进行塑性变形，随着变形程度增加，其强度指标（ σ_s 和 σ_b ）增加，而同时塑性指标（ δ 和 ψ ）下降，这种现象称为加工硬化，又称冷作硬化。加工硬化对许多冲压工艺都有较大影响。例如，由于塑性降低，限制了毛坯的进一步变形，往往会导致在后续变形工序之前增加中间退火工序以消除硬化。但硬化也有有利的一面，如硬化可提高抗局部缩颈失稳能力，使拉伸变形趋向均匀，成形极限增大。

3. 冲压成形的力学特点

(1) 两个屈服准则（塑性条件） 当物体中某点处于单向应力状态时，只要该应力值达到材料的屈服点，该点就开始屈服，由弹性状态进入塑性状态。可是对于复杂应力状态，就不能仅仅根据某一应力分量来判断某点是否已经屈服，而要同时考虑其他应力分量的作用。只有当各个应力分量之间符合一定关系时，该点才屈服。这种关系就称为屈服准则，或称为塑性条件。

1864 年法国工程师屈雷斯加（H. Tresca）认为，材料中最大切应力达到一定值时就开始屈服，此关系称为屈雷斯加屈服准则，其数学表达式为

$$\tau_{\max} = \left| \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \right| = \frac{\sigma_s}{2} \text{ 或 } |\sigma_1 - \sigma_3| = \sigma_s$$

1913 年德国学者密席斯（Von Mises）提出，当某点的等效应力^①达到一定值时，材料就开始屈服。这个准则称为密席斯屈服准则，可以表达为

$$(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2 = 2\sigma_s^2$$

① 等效应力又称广义应力，不是真正作用在单元体某个截面上的实际应力，而只是衡量应力状态受载程度的一个指标，是单元体上各应力分量的一个综合量。



这两个屈服准则是塑性力学和金属塑性成形的理论基础，对冲压变形理论亦有重要指导意义。

(2) 冲压成形的力学特点和变形趋向性的控制 冲压成形时毛坯内各点的应力、应变状态都不相同，应力状态满足屈服准则的区域，材料将发生塑性变形，称为变形区，应力状态不满足屈服准则的区域，材料将不产生塑性变形，称为非变形区。根据变形情况，非变形区又可以进一步分为已变形区、待变形区和不变形区。图 1-4 是缩口变形毛坯各区划分示意图。A 为变形区，B 和 C 都是非变形区。其中，C 是已成形部分，称为已变形区；B 区上部材料随变形过程的进行，不断转移到 A 区参加塑性变形，称为待变形区；而 B 区下部材料在整个变形过程中基本上没有发生塑性变形（小量变形忽略不计），称为不变形区。在变形过程中，变形区 A 发生塑性变形所需的力是由模具通过 B 区获得的。因此，B 区又称为传力区。由于 A 区与 B 区相毗连，在分界面上作用的内力大小和性质必定完全一样，也就是说 A 区和 B 区都有可能产生塑性变形，但由于 A 区和 B 区的变形条件和尺寸关系不同，可能产生的塑性变形的方式不同，各区所需变形力必然有“强”、“弱”之分，变形力小的区域也就是金属容易流动的区域，由最小阻力定律可知，这个区域必然先进入塑性状态，发生塑性变形。因此，可以认为这个区域是个相对的弱区。为保证冲压过程的顺利进行，必须保证变形区为弱区，待变形区可逐步转变为弱区，传力区成为强区，从而排除了传力区产生任何不必要的塑性变形的可能性。“弱区必先变形，变形区应为弱区”是模具设计人员应掌握的基本原则。

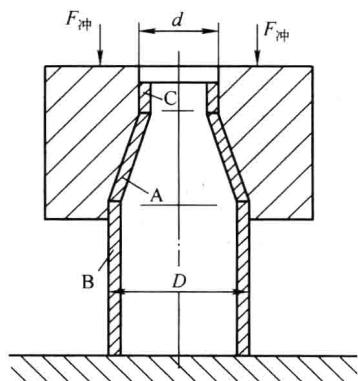


图 1-4 缩口变形毛坯各区的划分
A—变形区 B—传力区 C—已变形区

在板料成形过程中，垂直于板料平面的应力数值较小，可以认为板料处于平面应力状态。变形区的应力状态可分为两向拉应力、两向压应力及一向拉应力一向压应力三种情况。因此，板料的变形大致可分为伸长类变形和压缩类变形两大类。伸长类变形的主要特征是主应力中绝对值最大的应力是拉应力，材料在该方向上的变形为伸长变形，材料厚度减薄，拉裂是变形的主要危险。压缩类变形的主要特征是主应力中绝对值最大的是压应力，材料在该方向的变形为缩短变形，材料变厚，失稳起皱是变形的主要危险。

二、冷冲压工艺分类

当前在生产中所采用的冷冲压工艺方法是多种多样的，但概括起来可分为分离工序和成形工序两大类。常见的冲压加工方法见表 1-1。

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



(续)

变形种类	序号	工序名称	工序简图	工序说明
分离工序	2	落料		沿封闭的轮廓将制件或毛坯与板料分离
	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形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、板料的冲压性能指标

冷冲压所使用的材料大多数是金属材料，这就要求金属板料不仅能满足冲压件的使用要求，还要满足冲压工艺要求。具体说，就是板料应具有良好的冲压成形性能，良好的表面状态，力学性能、化学成分、板料厚度均应符合国家标准。其中良好的冲压成形性能是指能否用简便的工艺方法，高效率地利用板材生产出优质冲压件，这也是冷冲压对材料的主要要求。

通过常规实验测得的材料力学性能，能间接反映出板料的各种冲压性能，现在就其中几项说明如下。

1. 屈强比 $\left(\frac{\sigma_s}{\sigma_b}\right)$

屈强比是一项反映材料成形性能的综合指标。屈强比小，即 σ_s 相对较小， σ_b 相对较大，说明材料变形抗力低，抵抗破坏的能力较强。因此， $\frac{\sigma_s}{\sigma_b}$ 值小对大多数冲压成形是有利的。

2. 均匀伸长率 (δ_u)

δ_u 是在单向拉伸试验中试样开始产生缩颈之前的伸长率，表示材料产生均匀变形或称稳定变形的能力。一般情况下，冲压成形都是在板材的均匀变形范围内进行的，所以 δ_u 对冲压性能有较为直接的意义。 δ_u 越大，则极限变形程度越大。试样拉断之前的伸长率（包