



普通中等专业教育机电类规划教材

机械工业出版社精品教材

冷冲模设计

(第2版)

重庆机器制造学校 赵孟栋 主编



普通中等专业教育机电类规划教材
机械工业出版社精品教材

冷 冲 模 设 计

(第 2 版)

主编 赵孟栋
协编 史铁梁 虞学军
主审 蔡光耀



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,适应跨世纪模具工业的发展,特增加了冷冲模 CAD/CAM 技术简介一章。另外,在每章后均设有思考题,便于自学者自检。

本书以理论与实践相结合为编写指导思想,一切从实用出发,力求深入浅出、通俗易懂。本书为普通中等专业教育机电类规划教材,可与《冷冲模设计指导》(成都市工业学校史铁梁主编,北京:机械工业出版社,1997)配套使用。本书适用于各模具专业学校和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. —2版. —北京:机械工业出版社, 1999.12

普通中等专业教育机电类规划教材

ISBN 7-111-05360-5

I. 冷… I. 赵… III. 冲模-设计-专业学校-教材
N. TG385.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (1999) 第 69262 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑:汪光灿 倪少秋 版式设计:霍永明

责任校对:肖新民 责任印制:杨曦

北京机工印刷厂印刷

2006年1月第2版·第22次印刷

787mm × 1092mm¹/₁₆ · 13.25 印张 · 320 千字

146 801—152 800 册

定价:17.50 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换
本社购书热线电话 (010) 68326294
封面无防伪标均为盗版

序 言

《机械制造工艺学》、《机床夹具设计》、《金属切削机床》、《金属切削原理与刀具》、《液压传动》、《公差与测量技术》、《机械加工基础》、《机床电气控制技术》、《计算机应用基础》、《数控机床及其应用》、《冷冲模设计》、《机械设备维修工艺学》等12种教材，系机械工业部中等专业学校机械制造专业教学指导委员会组织编写的第四轮中等专业教育机电类规划教材。本轮教材是在机械工业部教育司领导下和机械工业出版社教材编辑室的直接指导下编写而成的。

机械制造专业教学指导委员会为组织本轮教材的编写做了各项准备工作：根据机械工业部教育司下达的“关于制（修）订机械工业中等专业学校教学计划的原则和规定”，指导委员会从1992年11月到1994年7月，先后四次对机械制造专业教学计划进行制订、修改；1993年4月，指导委员会分别组织各门课程骨干教师参加“教学计划”、“教学大纲”的研讨，并于同年8月扩大至由37所学校49名科主任以上代表参加的扩大会议，对“大纲”、“计划”进行了广泛讨论，因而教学计划和各课大纲反映和总结了各校教改的经验和成果，反映了各地区对机械制造专业的共同要求；为了把好教材质量关，指导委员会对各课程的编审人员进行严格遴选，从各校推荐名单中选出学术水平高并具有一定教材编写经验的教师参加本轮教材的编审工作。

为适应市场经济的需要，根据机械制造专业的教改精神，本轮教材在“必需”、“够用”的前提下，保证了机械制造专业中专生有关知识的基本要求，其内容既体现了实用性，又体现了灵活性和先进性。根据每周实行五天工作制的具体情况，对教材内容作了进一步调整，每门课程的知识含量规定了上、下限，教材中除基本要求以外，还编入带“※”的内容，供各校选用，因而教材的适用范围较大，除供初中四年制中专应用以外，也可供初中三年制和高中两年制中专应用，还可供有关高等职业学校应用。热忱欢迎有关学校选用，并提出宝贵意见。

本轮教材的编写，得到了有关部门和学校的大力支持，在此表示衷心感谢。

机械工业部中等专业学校
机械制造专业教学指导委员会
1995年5月

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。也可供其它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，对其它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

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，也可供其它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，对其它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转九等审阅，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。

目 录

第 1 版前言	
第 2 版前言	
绪论	1
第一章 冷冲压基本知识	4
第一节 塑性变形知识及冷冲压工艺分类	4
第二节 冲压材料	10
第三节 板料的剪裁	15
第四节 冲压设备	16
思考题	30
第二章 冲裁工艺	31
第一节 冲裁变形过程及质量分析	31
第二节 冲裁间隙	33
第三节 冲裁模刃口尺寸的计算	36
第四节 排样	39
第五节 冲裁力和压力中心的确定	45
第六节 精密冲裁简介	51
思考题	52
作业题	52
第三章 冲裁模具的结构及设计	55
第一节 冲裁模的结构分析	55
第二节 冲裁模零部件的设计与选用	58
第三节 冲裁模的设计	80
思考题	83
第四章 弯曲工艺	84
第一节 弯曲变形分析	85
第二节 弯裂与最小弯曲半径	87
第三节 弯曲回弹	90
第四节 弯曲力的计算	93
第五节 弯曲制件毛坯尺寸的计算	95
第六节 弯曲制件的工艺性	97
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	129
第五节 拉深力、压边力的计算及压力机的选用	148
第六节 拉深模工作部分尺寸的计算	150
第七节 常用拉深模具结构简介	152
第八节 拉深润滑	154
思考题	155
作业题	155
第六章 其它冲压工艺及模具	156
第一节 翻孔及翻边工艺	156
第二节 胀形、起伏、校平、整形工艺	167
第三节 其它冲模	170
思考题	176
第七章 冷冲压工艺规程的制订	177
第一节 制订工艺规程的步骤	177
第二节 工艺规程制订的实例	178
第三节 冲压安全生产	187
第八章 冷冲模 CAD/CAM 技术简介	191
第一节 CAD/CAM 原理	191
第二节 冷冲模 CAD/CAM 简介	195
第三节 二次开发 Auto CAD 的原理和方法	197
第四节 冷冲模 CAM 简介	200
参考文献	204

绪 论

冷冲压是机械工业中常见的一种金属加工方法。它是利用安装在压力机上的冲模对板料施加压力,使其产生分离或变形,以获得一定几何精度的机械零件或制品(以下统称制件),通常是在室温下进行加工的,所以称为冷冲压或板料冲压。冷冲压既可以加工金属材料,也可以加工非金属材料。

冷冲压与金属切削加工相比有如下优点:

(1) 金属材料经冲压变形后,其强度和刚度都得到提高。它能使较薄金属板料冲制成尺寸大、质量小、强度及刚度都较高的金属制件。如厚度为 0.8~1.5mm 的冷轧钢板,经冲压可制成形状复杂、质量小而强度、刚度都能满足使用要求的汽车覆盖件。尽管越来越多的汽车零件被塑料件所代替,但至今为止,汽车覆盖件主要仍是冲压件,世界上各大汽车厂研制的新型汽车亦采用冲压件为覆盖件。可以说冷冲压是一种不能用其它加工方法替代的加工方法。

(2) 冷冲压利用金属塑性,使金属材料在外力作用下发生塑性变形以达到制件形状和尺寸的要求。冷冲压既不同于锻压加工,不需要对金属材料加热,也不同于常见的金属切削加工,即不需要将多余金属材料切成碎屑方可获得所需形状的制件,因而冷冲压是一种节能的、少、无切屑的加工方法。由于在变形过程中未切断金属纤维,因而制件具有较合理的流线分布,这也是冷冲压制件强度和刚度好的重要原因之一。

(3) 冷冲压最重要的工艺装备是冷冲模,用冷冲模使金属材料变形,因此,冲压件基本上保持了模具工作部分的形状和尺寸精度。只要冷冲模精度高,就可以冲制出精度高、尺寸稳定、互换性好的冲压件。由于制模水平的提高,目前模具精度已达到微米级,制件精度可达 IT7~IT6 级。

(4) 冷冲压生产操作简单,因而易实现机械化和自动化,生产率很高。如一条由 4~6 台大型压力机组成的冲压生产线,一分钟可制造大尺寸汽车覆盖件数十件。一台高速自动压力机配置一套多工位级进模,一分钟可生产上千件电子接插件。

(5) 尽管制造冷冲模的技术要求高、难度大、成本高,但由于一副模具能冲制成千上万乃至上亿个制件,加之冲压生产率很高,因而在大批量生产条件下,冲压件成本极低。

由于冷冲压在技术上和经济上有独到之处,因而在现代工业生产中占有重要地位,特别是在汽车、仪器仪表和日用五金用品中,冷冲压制品占有很大的比例。据许多国家对各种模具产值的统计资料表明,自 70 年代起,世界主要工业国模具的产值已超过机床制造业,而且还有逐年上升的趋势,其中冷冲模约占 40%。

随着现代科学技术的高速发展,许多新技术、新工艺、新设备、新材料不断涌现,促进冷冲压技术不断革新和发展。其主要表现和发展趋势如下:

(1) 冷冲压朝着使用 CAD/CAM/CAE(计算机辅助设计/计算机辅助制造/计算机辅助工程)技术方向发展。自 80 年代初期,世界模具行业大量采用 CNC 机床(计算机数字控制机床),开发和研究冲模 CAD/CAM 技术,使冲模设计和制造现代化。用计算机采用有限元

(FEM)模拟金属板料变形情况,可以预测某一工艺方案对制件成形的可能性和将会发生的问题。计算机将结果显示在终端上供设计人员选择修改,这样既节省了昂贵的试模费用,也缩短了制模周期。用计算机设计模具,编制模具零件的加工工艺,控制CNC机床加工模具已得到推广使用。采用CAD/CAM/CAE技术,可使制模周期缩短 $1/2\sim 2/3$,精度提高 $1\sim 2$ 级。目前用CNC机床加工的模具精度已达 $1\mu\text{m}$ 级。世界各主要工业国已广泛使用此技术,我国也正由试验研究阶段转入实用。

(2)冷冲压模具正向研制新型高效模具方向发展。由于冲模是冲压生产最主要的工艺装备,各国均致力于开发各种先进高效模具,以满足冲压生产的需要。研究高精度、高效率、高寿命、多功能冲模成为当今冷冲模的发展方向,其中超大型、超小型、精密多工位级进模代表了现代冲模的技术水平。大型模具重量达 300kN 以上,超小型冲压件质量仅 0.001kg ,50个工位以上的级进模步进精度达 $2\mu\text{m}$,而且多功能模具不仅可完成冲压全过程,还可完成焊接、装配等工序。为制造高精度模具,各厂家正广泛采用CNC机床、数控三坐标测量仪等先进设备,一些先进国家模具厂的数控设备已占设备总数的50%。与此同时,由于模具标准化技术、成组技术、各种表面强化处理技术等得到较大发展,不仅促进了制模水平的提高,而且大幅度缩短了制模周期,模具精度极大提高,寿命延长,其中硬质合金冲模寿命已超过一亿次,而一些小型、中等复杂程度的模具制造周期仅为几天。

(3)冷冲压设备朝着多工位、数控方向发展。为满足大批量高速生产的需要,冲压设备也由单工位、单功能、低速压力机朝着多工位、多功能、高速、数控方向发展,加之机械手乃至机器人的大量使用,使冲压生产效率得到大幅度提高。各式各样的冲压自动线和高速自动压力机纷纷投入使用。如在数控四边折弯机中送入板料毛坯后,在计算机程序控制下便可依次完成板料四边弯曲,从而大幅度提高精度和生产效率。一台多工位压力机就是一条冲压生产自动线,且运行更为可靠。又如一台高速自动压力机配以一套模具,一分钟可冲几百片硅钢芯片,并自动叠成几十个电动机定子、转子铁心,生产效率提高几十倍,材料利用率高达97%。目前,200kN高速压力机行程次数已达2000次/min。又如CNC激光冲压复合机,既可完成冲压工序,又可将激光切割头换成焊接头进行焊接。冲压设备的发展改革了常规冲压工艺及模具设计。

(4)冲压生产朝着多品种、小批量、高质量的方向发展。近年来为了适应市场的激烈竞争,对产品质量的要求越来越高,且其更新换代的周期亦大为缩短。冲压生产为适应这一新的要求,开发出多种适合小批量生产的工艺、设备和模具。如无需设计专用模具、性能先进的转塔数控多工位压力机、激光切割和成形机,高压水切割机、CNC万能折弯机等新设备及由此而产生的一系列新工艺。各种低成本简易模具,如锌合金模、聚氨脂橡胶模、薄板冲模和组合冲模,以及快速换模装置等的使用,取得了较大的技术经济效益。特别是近几年来在国外已发展起来,国内亦开始使用的冲压柔性制造单元(FMC)和柔性制造系统(FMS)代表了冲压生产的新的发展趋势。FMS系统以数控冲压设备为主体,包括板料、模具、制件分类存放系统、自动上料、下料系统,生产过程完全由计算机控制,车间实现24h无人控制生产,根据不同使用要求,可以完成各种冲压工序,甚至焊接、装配等工序,更换新产品方便迅速,制件精度高,特别适合多品种、小批量冲压生产。

(5)为研制高寿命模具,冷冲压模具正向采用新型模具材料和热处理新工艺方向发展。据统计资料表明,模具早期失效的原因主要是由于模具材料欠佳或热处理工艺不当引起的。近

年来世界各主要工业国在此方面取得较大进展，开发了许多新钢种。如用粉末冶金方法制造的高合金高速钢，其硬度可达 58~70HRC，而变形只为普通钢材的 1/2~1/5。火焰淬火钢可局部硬化，且无脱碳。我国研制的 65Nb、LD 和 CD 等钢种，具有热加工性能好、热处理变形小、抗冲击性能佳等优点。与此同时，还发展了一些新的热处理和表面处理工艺，主要有气体软氮化、离子氮化、渗硼、表面涂镀、CVD（化学气相沉积）、PVD（物理气相沉积）、激光表面处理等。这些方法使模具寿命大大延长。

(6) 模具朝着标准化、系列化、专业化和商品化的方向发展。模具制造必须标准化。只有实现标准化，才能使模具和模具零件生产实现专业化、商品化，从而降低模具成本和制造周期。世界主要工业国模具标准化生产程度达 80%，模具厂只需设计制造模具工作零件，大部分模具零件均从模具标准件厂购买，使生产效率大幅度提高。模具制造厂专业化程度越来越高，分工越来越细，而规模变小。如目前有模架厂、顶杆厂、热处理厂，甚至某些模具厂仅专业化制造某类产品的冲裁模或弯曲模，这样更有利于制造水平的提高和制造周期的缩短。

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。它以金属学和热处理、塑性力学、金属塑性成形原理等学科为理论基础，与冲压设备、模具制造工艺学紧密相关。在学习时不但要注意学习系统的理论，而且要密切联系生产实际，重视实验、实习、课程设计等实践环节。不但要注意学习本学科的知识，还要沟通与上述基础学科和相关学科知识的联系。除此之外在学习上还应特别注意以下几个方面：

(1) 重视冲压基本知识的学习，掌握塑性变形的基本概念，特别是应力与塑性变形的关系。

(2) 冲裁、弯曲、拉深是冲压的三大主要工序，在生产中应用广泛而且是本书的重点内容。

(3) 虽然冲压工序种类繁多，但各工序有其相似的地方，在学习时应以各工序的变形特点和工艺设计为突破口，其它问题就迎刃而解了。

(4) 加强计算机知识的学习和技能训练。在可能的条件下与计算机辅助设计课程相结合，进行 CAD/CAM 软件应用训练，以适应时代对工程技术人员的要求。

(5) 本课程的最终目标就是要求学生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模具的设计计算、参数选用和模具的结构工艺性。

只要注意学习方法、加强实践环节，就一定能学好这门课程。

第一章 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

(一) 主应力和主应变

1. 应力和应变

由材料力学可知，物体内部由于外力作用而产生的相互作用力，称为内力，而内力在物体截面上分布的密集程度（简称集度）称为应力。应力有正应力和切应力之分，正应力用 σ 表示，切应力用 τ 表示。

2. 点的应力状态

由于变形体内各点受力情况不一样，因而引起的应力应变也不一样。为便于研究变形体内各点的内力和变形状态，与材料力学类似，我们可以研究点的应力状态。围绕所研究的点，取一个边长为无限小量的立方体为单元体，建立一个坐标系，使三个坐标轴分别平行于单元体的三个棱边。以单元体中三个互相垂直的表面作为微分面，如果这三个微分面上的应力为已知，则该单元体任意方向上的应力都可以通过静力平衡求得。也就是说可以用点在三个相互垂直的微分面上的应力来完整地描述该点的应力状态。

由于所研究的点为任意一点，因而在单元体上三个微分面上的应力一般说是任意方向的。但任何一个任意方向的应力都可按坐标轴的方向分为三个分量；又由于每个微分面都与一个坐标轴垂直与另两个坐标轴平行，故三个应力分量必有一个是正应力分量，另两个是切应力分量，如图 1-1a 所示。

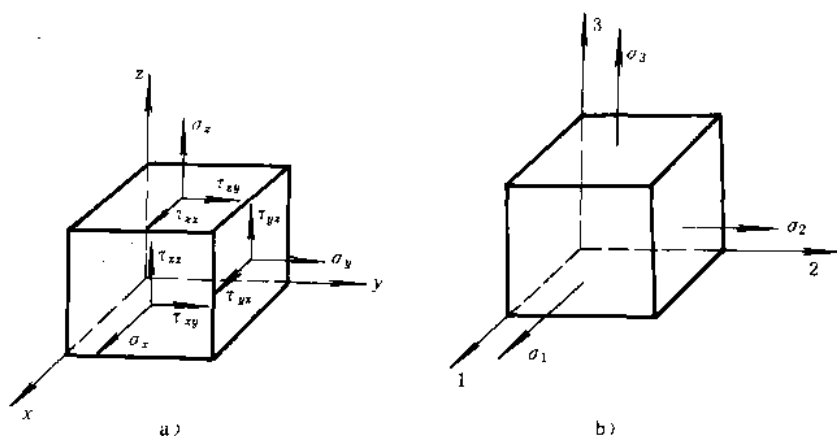


图 1-1 点的应力状态

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,但由于有九个应力分量,即使根据切应力互等定理, $\tau_{xy} = \tau_{yx}$, $\tau_{xz} = \tau_{zx}$, $\tau_{zy} = \tau_{yz}$, 也要用六个分量表示一点的应力状态,对研究和分析问题十分不方便。为使问题简化,根据应力张量[⊙]的特性,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而言,总存在三个互相垂直的平面,其面上仅存在正应力而无切应力。若选取这样的平面作为微分面,则此微分面称为主平面。然后选取三个轴分别垂直于这三个主平面作为坐标轴,称为主轴,或主方向。这样,一点的应力状态仅用三个正应力,称为主应力来表示,使问题大为简化。由主应力表示点的应力状态的图形称为主应力图(图 1-1b)。可能的主应力图如图 1-2 所示,共九种。

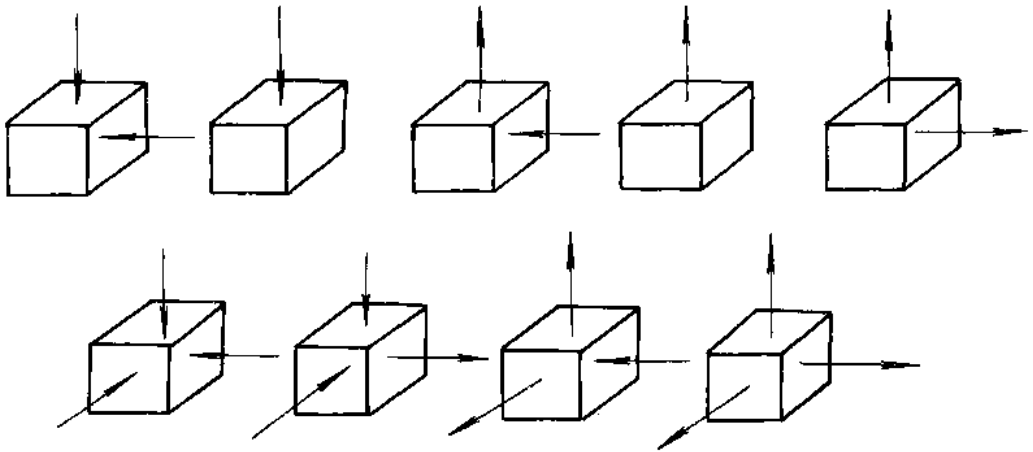


图 1-2 主应力图

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,也可以用主应变图表示点的应变状态,其可能的主应变状态仅有如图 1-3 所示的三种状况。

在冷冲压变形中,用主应力图

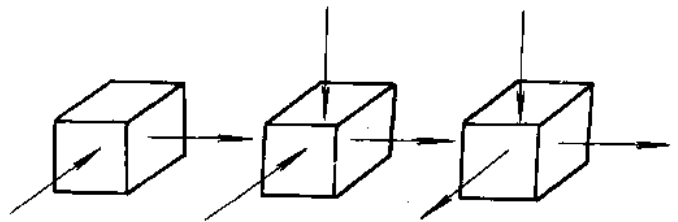


图 1-3 主应变图

和主应变图定性地分析变形体的应力和应变,可以对冲压工艺设计起指导作用。

(二) 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。例如应力状态不同,材料表现的塑性就不一样。如铅通常具有极好的塑性,但在三向等拉伸应

⊙ 张量是矢量概念的一种推广。有些物理量可以用一个标量表示,如温度、时间、距离等,称为标量,而有些物理量要用三个标量表示,如速度、位移、力等,称为矢量。但一些复杂的物理量,如应力状态、应变状态需用九个分量表示,则称为张量。

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。反之，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，著名的卡尔曼试验就证明了这一点。

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的同时，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 $\epsilon_1 + \epsilon_2 + \epsilon_3 = 0$ 。

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，前者反映材料塑性变形的能力，后者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，而滑移又是最主要的方式。一般来说，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（含碳小于0.0218%），其显微组织为单相铁素体，塑性好，变形抗力低，而碳钢，因含碳量超过铁的溶碳能力，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。由主应力图分析可知，压应力个数愈多，数值愈大，则金属塑性愈好；反之，拉应力个数愈多，数值愈大，则金属的塑性愈差，过大的拉应力将使板料破裂。

4. 塑性的评定

为了衡量金属塑性的高低，需要有一种数量上的指标，称为塑性指标。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颈缩失稳能力，使拉深变形趋向均匀，成形极限增大。

(三) 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，而要同时考虑其它应力分量的作用。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，或叫塑性条件。

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

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

1913年德国学者密席斯 (Von Mises) 提出：当某点的等效应力[⊖]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

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

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

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。

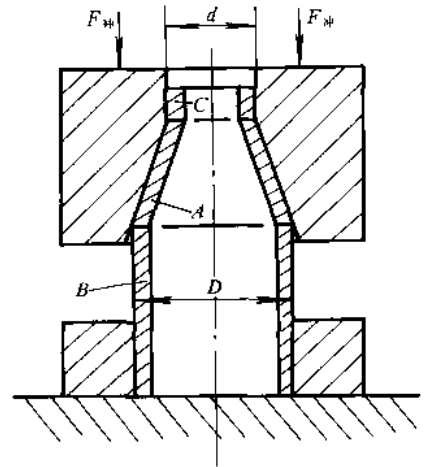


图 1-4 缩口变形毛坯各区的划分
A—变形区 B—传力区 C—已变形区

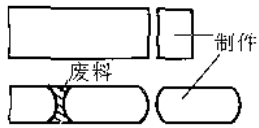
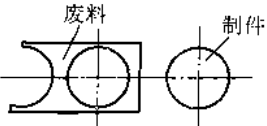
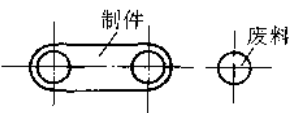
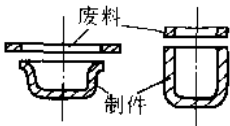

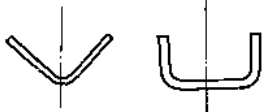
⊖ 等效应力又称广义应力，不是真正作用在单元体某个截面上的实际应力，而只是衡量应力状态受载程度的一个指标，是单元体上各应力分量的一个综合量。

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、两向压应力和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。

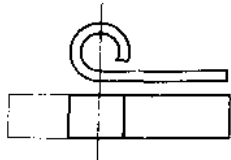

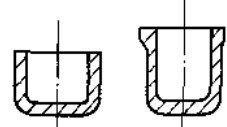
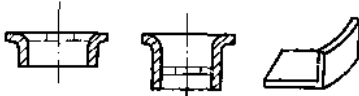



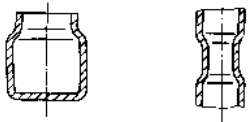
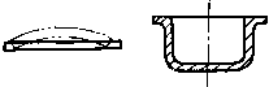
二、冷冲压工艺分类

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可见表 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
	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曲线弯成一定角度和形状的制件

(续)

变形种类	序号	工序名称	工序简图	工序说明
成形 工序	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
	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,以及板料厚度应符合国家标准。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. 屈服点和屈服比

材料的屈服点 σ_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 δ_s (图1-5)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 σ_s 还不能说明冲压成形性能,往往用材料的屈服点 σ_s 和抗拉强度 σ_b 的比值,叫作屈服比,综合反映材料成形性能。屈服比小,即 σ_s 相对较小, σ_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,较小的屈服比对板料各种成形工艺均有利。

2. 伸长率

在材料单向拉伸实验中开始产生颈缩之前的伸长率,叫作均匀伸长率,用 δ_u 表示。试样拉断之前的伸长率(包括 δ_u)叫做总伸长率 δ_t 。 δ_u 和 δ_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 δ_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作应变硬化指数,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,不仅可以提高板材的局部应变能力,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 GB5028—85《金属薄板拉伸应变硬化指数(n 值)试验方法》的有关规定。

4. 塑性应变比

由于金属结晶和板材轧制等原因,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 ϵ_b 和厚度应变 ϵ_t 之比,又称为板厚方向系数。 R 值由下式表示

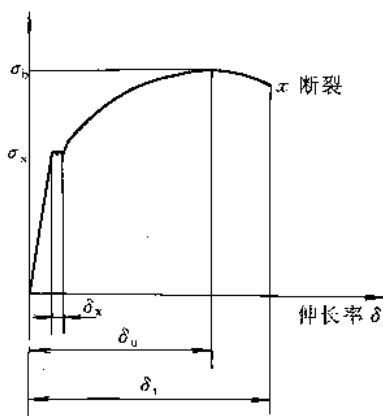


图 1-5 板料单向拉伸试验曲线