

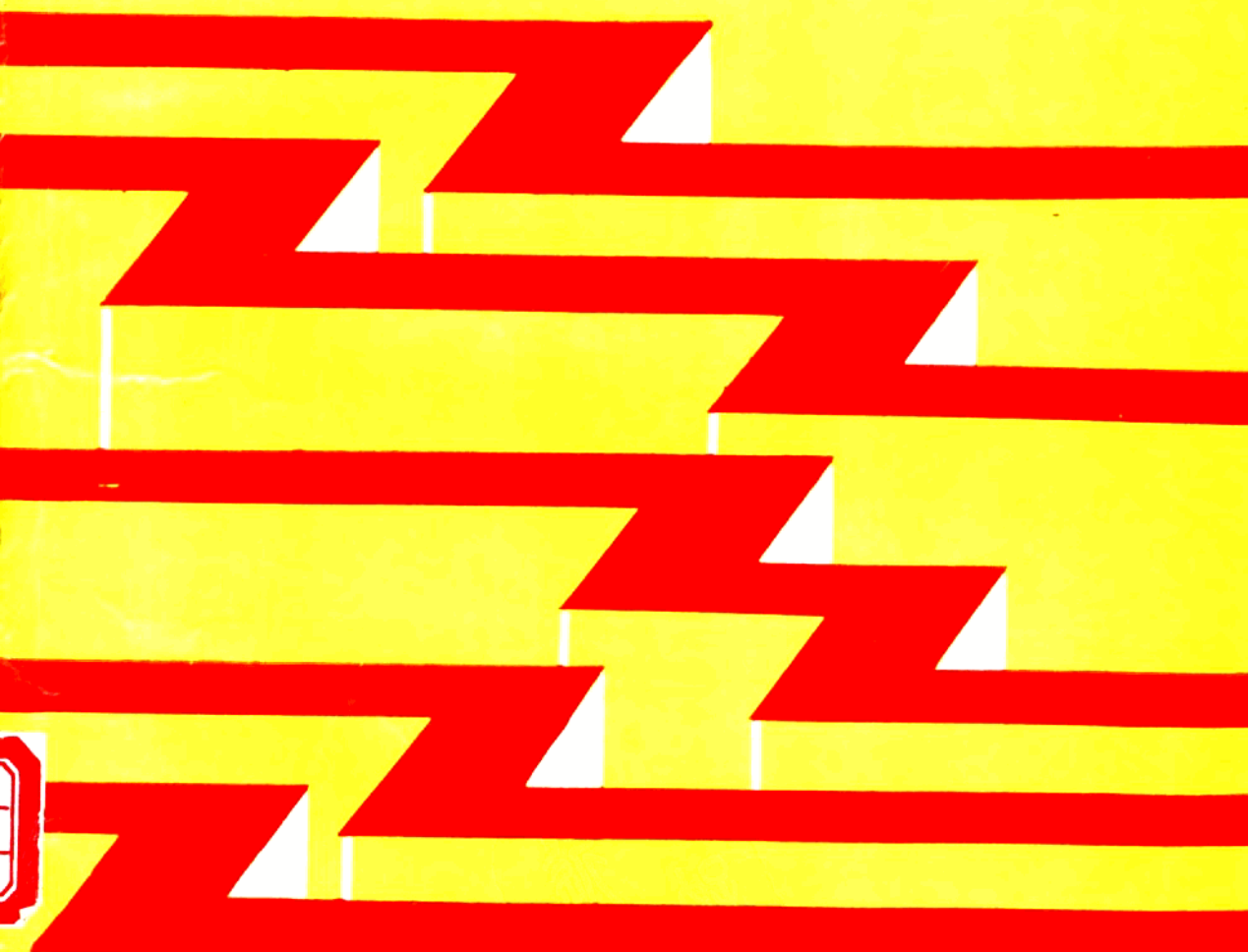
中等专业学校试用教材

冷冲压与塑料成型

——工艺及模具设计

上册

福建机电学校 翁其金 主编



机械工业出版社

前 言

本书是根据原国家机械工业委员会中等专业学校《模具设计与制造》专业教学计划和《冷冲压与塑料成型——工艺及模具设计》教学大纲编写的，是中等专业学校模具设计与制造专业的教学用书，本书也可供从事模具设计的技术人员参考。

冲压工艺在工业生产中应用十分广泛，而冲模是实现冲压工艺不可缺少的工艺装备。本书在阐明冲压工艺的基础上，详细叙述了正确设计冲模结构和恰当确定冲模几何参数的基本方法，客观地分析了冲压工艺、冲模、冲压设备、冲压原材料、冲压件质量及冲压件经济性的关系，适当介绍了冷冲压技术发展中的先进经验。内容力求适应中等专业学校的教学要求，从生产实际出发，简明通俗，重点内容附有必要的例题。

本书由福建机电学校翁其金主编，咸阳机器制造学校周晓明主审。上册共十二章，其中翁其金编写第一、五、七、九、十、十一、十二章和第三章的第七至十五节，重庆机器制造学校马竈华编写第二、四、六、八章和第三章的第一至六节。

参加审稿会的有重庆机器制造学校俞伟民、浙江机械工业学校谢康美、杭州机械工业学校胡国松、山东省机械工业学校陈中兴、王桂萍、陕西第一工业学校郭强、成都无线电机机械学校苟文熙、成都工业学校史铁梁、冯明德。福日公司工程塑料厂汪智明和福建机电学校范有发为本书绘制了许多插图，在此一并表示感谢。

由于编者水平有限，错误缺点在所难免，恳切希望广大读者批评指正。

目 录

第一章 概述	1	第三节 凸模与凹模刃口尺寸的确定	36
一、冷冲压的特点和应用	1	一、凸、凹模刃口尺寸计算的依据和原则	36
二、冷冲压的现状和发展动向	1	二、凸、凹模刃口尺寸的计算方法	37
三、冷冲压基本工序的分类	3	第四节 冲裁件的工艺性	43
四、学习要求和学习方法	7	一、冲裁件的结构工艺性	43
第二章 冷冲压变形基础	8	二、冲裁件的精度和断面粗糙度	43
第一节 塑性、变形抗力及其影响因素	8	第五节 排样	45
一、塑性变形、塑性、变形抗力的概念	8	一、材料的合理利用	45
二、影响金属塑性和变形抗力的因素	8	二、排样方法	46
第二节 冲压成形的应力和应变	9	三、搭边	48
一、应力状态	9	四、条料宽度与导料板间距离的计算	48
二、塑性条件（屈服条件）	12	第六节 冲裁力和压力中心的计算	51
三、应变状态	14	一、冲裁力的计算	51
四、塑性变形时应力与应变的关系	16	二、卸料力、推件力及顶件力的计算	52
第三节 冷冲压成形中的硬化现象	17	三、压力机公称压力的确定	53
一、硬化现象	17	四、降低冲裁力的方法	53
二、硬化曲线	17	五、冲模压力中心的确定	55
三、拉伸试验的卸载规律和反载软化现象	19	第七节 冲裁模分类	57
第四节 超塑性及其在冲压生产中的应用简介	20	一、按工序性质分类	57
第五节 冷冲压材料及其冲压成形性能	21	二、按工序组合程度分类	57
一、材料的冲压成形性能	21	三、按冲模有无导向装置和导向方法分类	58
二、板料的冲压成形性能试验	22	四、按送料、出件及排除废料的自动化程度分类	58
三、对冷冲压材料的基本要求	27	第八节 典型冲裁模的结构分析	58
四、常用冷冲压材料及其在图纸上的表示方法	27	一、单工序冲裁模（简单冲裁模）	58
第三章 冲裁	29	二、连续模	63
第一节 冲裁过程的分析	29	三、复合模	70
一、冲裁变形过程	29	第九节 冲裁模主要部件和零件的设计与选用	73
二、冲裁切断面分析	30	一、冲模零件的分类	73
三、提高冲裁件质量的途径	31	二、工作零件	73
第二节 冲裁模间隙	31	三、定位零件	86
一、间隙对冲裁件质量的影响	31	四、卸料装置	95
二、间隙对冲裁力的影响	33	五、模架及零件	102
三、间隙对模具寿命的影响	33	六、其它支承零件	107
四、冲裁模间隙值的确定	34		

七、紧固件	108	三、顶件力或压料力	151
八、冲模的组合结构	109	四、压力机公称压力的确定	151
第十节 硬质合金冲裁模	109	第六节 弯曲件的工艺性	152
一、硬质合金材料性能及其模具寿命	109	一、弯曲件的精度	152
二、硬质合金冲裁模结构	110	二、弯曲件的材料	152
三、硬质合金冲裁模对冲裁工艺设计的要求	112	三、弯曲件的结构	152
第十一节 小孔冲裁模	113	第七节 弯曲件的工序安排	154
一、提高冲小孔凸模强度和刚度的方法	113	一、弯曲件的工序安排原则	154
二、小孔冲裁模典型结构	115	二、典型弯曲件的工序安排	155
第十二节 整修	116	第八节 弯曲模设计	155
一、整修及整修余量	116	一、典型弯曲模结构	156
二、外缘整修模具工作部分尺寸计算	116	二、弯曲模结构设计应注意的问题	173
三、内缘整修模具工作部分尺寸计算	117	三、弯曲模工作部分尺寸的设计	173
四、整修模结构设计要点	119	第五章 拉深	177
五、整修特点及应用场合	119	第一节 拉深基本原理	177
第十三节 精密冲裁	120	一、拉深变形过程及特点	177
一、带齿压料板精冲	120	二、拉深过程中坯料内的应力与应变状态	178
二、半精密冲裁	136	三、拉深时凸缘区的应力分布与起皱	182
第十四节 非金属材料的冲裁	139	四、筒壁传力区的受力分析与拉裂	185
第十五节 冲裁工艺及冲裁模设计要点	141	第二节 旋转体拉深件坯料尺寸的确定	185
第四章 弯曲	147	一、坯料形状和尺寸确定原则	185
第一节 弯曲变形过程及变形特点	147	二、简单旋转体拉深件坯料尺寸的确定	188
一、弯曲变形过程	147	三、复杂旋转体拉深件坯料尺寸的确定	193
二、塑性弯曲变形区的应力、应变状态	147	四、拉深件坯料尺寸的简易算法	196
三、弯曲变形程度及其表示方法	149	第三节 圆筒形件的拉深系数	199
四、板料塑性弯曲的变形特点	150	一、拉深系数及其极限	199
第二节 最小弯曲半径	151	二、影响极限拉深系数的因素	201
一、影响最小弯曲半径的因素	151	三、极限拉深系数的确定	202
二、最小弯曲半径 $r_{\min}$ 的数值	152	第四节 圆筒形件的拉深次数及工序件尺寸的确定	203
三、提高弯曲极限变形程度的方法	152	一、无凸缘圆筒形件的拉深次数及工序件尺寸的确定	203
第三节 弯曲卸载后的回弹	153	二、有凸缘圆筒形件拉深方法及工序件尺寸的确定	206
一、回弹现象	153	第五节 圆筒形件拉深的压料力与拉深力	214
二、影响回弹的因素	153	一、拉深时的起皱与防皱措施	214
三、回弹值的确定	155	二、压料力的确定	215
四、减少回弹的措施	156	三、压料装置	215
第四节 弯曲件坯料尺寸的计算	159	四、拉深力的计算	219
一、弯曲中性层位置的确定	159	五、压力机公称压力的确定	219
二、弯曲件坯料尺寸的计算	159	六、拉深功的计算	220
第五节 弯曲力的计算	161		
一、自由弯曲时的弯曲力	161		
二、校正弯曲时的弯曲力	161		

第六节 阶梯形件的拉深	220	四、翻边模结构	292
一、判断能否一次拉深成形	221	第三节 缩口	293
二、阶梯形件多次拉深的方法	221	一、缩口变形特点及变形程度	293
第七节 盒形件的拉深	223	二、缩口工艺计算	294
一、盒形件拉深的变形特点	223	三、缩口模结构	295
二、盒形件坯料的形状和尺寸的确定	224	第四节 旋压	296
三、盒形件拉深变形程度	226	一、旋压工艺	296
四、盒形件的多工序拉深方法及工序件尺寸的确定	229	二、变薄旋压工艺	297
五、其它盒形零件的拉深	243	第五节 校形	300
六、盒形件拉深力的计算	244	一、校形的特点及应用	300
第八节 曲面形状零件的拉深	245	二、平板零件的校平	301
一、曲面形状零件的拉深特点	245	三、空间形状零件的整形	302
二、球形件拉深方法	249	第七章 冷挤压	303
三、抛物线形零件的拉深方法	250	第一节 概述	303
四、锥形零件的拉深	250	一、冷挤压的分类	303
五、非旋转体曲面零件的拉深特点	253	二、冷挤压的特点及应用	304
第九节 拉深件的工艺性	256	三、当前应用冷挤压技术应解决的主要问题	308
一、拉深件的公差等级	256	第二节 冷挤压的金属变形	309
二、对拉深件形状的要求	256	一、正挤压的金属变形	309
三、对拉深件圆角的要求	257	二、反挤压的金属变形	311
第十节 拉深模	257	三、复合挤压的金属变形	312
一、拉深模分类及其典型结构	257	四、冷挤压的变形程度	312
二、拉深模工作部分的结构和尺寸	259	第三节 冷挤压的材料与坯料准备	315
第十一节 其它拉深方法	264	一、冷挤压用原材料	315
一、软模拉深	264	二、冷挤压坯料形状和尺寸的确定	315
二、差温拉深	266	三、冷挤压坯料的加工方法	317
三、带料连续拉深	268	四、冷挤压坯料的软化处理	317
四、变薄拉深	274	五、冷挤压坯料的表面处理与润滑	317
第十二节 拉深工艺的辅助工序	278	第四节 冷挤压压力的确定	321
一、润滑	278	一、冷挤压力曲线	321
二、热处理	279	二、单位挤压力及其影响因素	321
三、酸洗	280	三、挤压力的确定	324
第六章 其它冲压成形	281	四、冷挤压力机的选用	325
第一节 胀形	281	第五节 冷挤压件的工艺性	331
一、胀形的变形特点	281	一、冷挤压件的结构工艺性	331
二、平板坯料的起伏成形	281	二、冷挤压件的尺寸公差与表面粗糙度	333
三、空心坯料的胀形	283	第六节 冷挤压工艺过程设计	333
第二节 翻边	285	一、冷挤压工艺方案的确定	333
一、内孔翻边	286	二、冷挤压件图的设计	336
二、外缘翻边	289	三、冷挤压的典型实例	338
三、变薄翻边	291	第七节 冷挤压模具	340

一、典型冷挤压模具结构	341	四、辊轴送料自动连续模	391
二、冷挤压凸模与凹模的设计	343	五、排板式上件半自动弯曲模	395
三、预应力组合凹模的设计	347	六、转鼓式上件半自动冲裁弯曲模	395
第八节 挤压新工艺	350	七、半自动冷挤压模	396
一、温热挤压	350	第六节 自动模设计要点	398
二、静液挤压	351	一、对自动模的要求	393
第八章 简易冲模	353	二、自动模设计应注意的问题	398
第一节 锌基合金冲模	353	第十章 冲压模具寿命及模具材料	400
一、锌基合金冲模的特点及应用	353	第一节 冲压模具寿命	400
二、锌基合金的成分和性能	353	一、冷冲模的工作条件及失效形式	400
三、锌基合金冲裁模的设计和制造	353	二、影响冲模寿命的因素及提高冲模寿命的措施	401
四、锌基合金成形模的设计和制造	356	第二节 冲压模具材料	405
第二节 聚氨酯橡胶冲模	356	一、对冷冲模工作零件材料的要求	405
一、聚氨酯橡胶冲模的特点及应用	356	二、冷冲模具材料的种类及特性	406
二、聚氨酯橡胶特性及选用	357	三、冷冲模材料的选用原则	409
三、聚氨酯橡胶冲模的设计	357	四、冷冲模具材料的选用及热处理要求	409
四、其它聚氨酯橡胶冲模的典型结构	359	第十一章 冲压生产及冲模的安全措施	413
第三节 薄板冲模	360	第一节 冲压生产及冲模的安全措施	413
一、薄板冲模的特点及应用	360	一、冷冲压生产发生事故的原因	413
二、薄板冲模结构及工作部分的设计	360	二、冲压生产中安全保护的主要措施	413
三、薄板冲模主要零件的制造	362	第二节 冲模的安全措施	413
第九章 自动模	364	一、冲模结构的安全措施	413
第一节 概述	364	二、冲模的安全装置	414
一、冲压生产的自动化与自动模	364	三、冲模的其它安全措施	415
二、自动模的组成部分	364	第十二章 冲压工艺过程的制定	417
三、自动模中常用的机构	366	第一节 制定冲压工艺过程的基础	417
第二节 自动送料装置	368	一、工艺设计的原始资料	417
一、自动送料装置的分类	368	二、掌握变形规律,正确制定工艺过程	417
二、自动送料装置	370	第二节 冲压工艺过程的制定	422
三、自动上件装置	380	一、对零件图的分析	423
第三节 自动出件装置	385	二、冲压件总体工艺方案的确定	424
一、气动式出件装置	385	三、冲压工序性质、数目与顺序的确定	424
二、机械式出件装置	386	四、冲压工序件形状和尺寸的确定	431
三、出件与冲压工作的配合	386	五、冲模类型及结构形式的确定	433
第四节 自动检测与保护装置	388	六、冲压设备的选择	433
一、原材料的检测与自动保护	389	七、冲压工艺文件的编写	433
二、模具内的检测与保护装置	389	第三节 冲压件工艺过程制定实例	434
三、出件检测及自动保护装置	389	一、零件图的分析	434
第五节 自动模与半自动模	391	二、外壳冲压工艺过程的确定	435
一、钩式送料自动复合模	391	三、主要工艺参数的计算	437
二、夹滚式送料自动连续模	392	四、冲压工艺过程卡的编写	439
三、夹板式送料自动连续模	392		

第一章 概 述

一、冷冲压的特点和应用

冷冲压是利用安装在压力机上的冲模对材料施加压力,使其产生分离或塑性变形,从而获得所需要零件(俗称冲压件或冲件)的一种压力加工方法。因为它通常是在室温下进行加工,所以称为冷冲压。又因为它主要是用板料加工成零件,所以又称为板料冲压。冷冲压不但可以加工金属材料,而且还可以加工非金属材料。

冲模是将材料加工成所需冲件的一种工艺装备。冲模在冷冲压中至关重要,没有符合要求的冲模,冷冲压就无法进行;没有先进的冲模,先进的冲压工艺也就无法实现。

冷冲压生产过程的主要特征是依靠冲模和冲压设备完成加工,便于实现自动化,生产率很高,操作简便。对于普通压力机,每台每分钟可生产几件到几十件冲压件,而高速冲床每分钟可生产数百件甚至千件以上。冷冲压所获得的零件一般无需进行切削加工,因而是一种节省原材料、节省能耗的少、无切削加工方法。由于冷冲压所用原材料多是表面质量好的板料或带料,冲件的尺寸公差是由冲模来保证,所以产品尺寸稳定,互换性好,产品零件壁厚、重量轻、刚度好,可以加工形状复杂的零件。

但是,冷冲压必须具备相应的冲模,而冲模制造的主要特征是单件小批量生产,精度高,技术要求高,是技术密集型产品。因而,在一般情况下,只有在产品生产批量大的情况下,才能获得较高的经济效益。

综上所述,冷冲压与其它加工方法相比,具有独到的特点,所以在批量生产中,应用十分广泛。相当多的工业部门越来越多地采用冷冲压加工产品零部件,如汽车、拖拉机、电器、仪表、电子、国防以及日用品工业等等。在这些工业部门中,冲压件所占的比重都相当大。不少过去用铸造、锻造、切削加工方法制造的零件,现在已被重量轻、刚度好的冲压件所代替。例如电机的端盖,以往是铸件,传统工艺是通过铸造和切削加工制造,现在改为冲压件,现在通过冲压加工制造,大大提高了生产率,降低了成本。可以说,如果在生产中不广泛采用冲压工艺,许多工业部门的产品要提高生产率,提高质量,降低成本,进行产品的更新换代是难以实现的。

二、冷冲压的现状和发展动向

随着近代工业的发展,对冷冲压提出了越来越高的要求,因而也促进了冷冲压技术的迅速发展。

1. 在冲压工艺方面

研究和推广可以提高劳动生产率及产品质量,降低成本和扩大冲压工艺应用范围的各种冲压新工艺。

冷挤压是一种生产率高、产品质量好的先进加工工艺。用冷挤压方法生产的零件一般不需要或只需要进行少量切削加工。目前,冷挤压不但用于生产有色金属零件,而且还用于生产黑色金属零件,随着模具设计与制造技术及模具材料的发展,冷挤压的应用范围将越来越广泛。

精密冲裁是提高冲裁零件质量的有效方法。它可以扩大冲压加工范围。目前,精密冲裁

加工零件的厚度已达 25mm，一部分过去用切削加工方法生产的零件现在已改为用精密冲裁方法制造。

超塑性成形方法具有突出的特点，即能在很低的变形抗力下得到非常大的变形，这对于制造形状复杂和大型板料零件具有突出的优越性，可以用一次成形代替多道普通的冲压成形工序。目前，这种新工艺虽然还处于开发和推广应用阶段，但在实际生产中已显示出其优越性，可用超塑性加工的金属材料也正在不断扩大。

用液体、橡胶、聚氨酯等作为软性凸模或凹模来代替刚性凸模或凹模，对板料进行冲压加工，在特定的生产条件下，具有明显的经济效益。它能够加工出用普通冲压方法难以加工的复杂形状零件，因而在生产中受到人们的重视。

爆炸成形等高速成形方法对于加工各种尺寸大、形状复杂、批量小、强度和精度要求很高的板料零件，具有很重要的实际意义。

2. 冲模方面

冲模是实现冲压生产的基本条件。当前，在冲模的设计和制造上，有两方面正在发展。一方面，为了适应高速、自动、精密、安全等大批量现代化生产的需要，冲模正向高效率、高精度、高寿命、自动化方向发展。在我国，工位数达二十多个的连续模，寿命达千万次以上的硬质合金模，精度和自动化程度相当高的冲模都已经在生产中使用。同时，由于这样的冲模对加工、装配、调整、维修的要求很高，因此各种高效、精密、数控、自动化的模具加工机床和检测设备也正在迅速发展。我国的数控铣床和坐标磨床等先进模具加工设备已达到一定的水平。另一方面，为了产品更新换代和试制或小批量生产的需要，锌合金模、聚氨酯橡胶模、薄板冲模、钢带冲模、组合冲模等各种简易冲模及其制造工艺也得到迅速发展。

在模具材料及热处理、模具表面处理等方面，国内外都进行了不少研制工作，并取得了很好的实际效果。如 65Nb、LD1、012A1、CG2 等就是我国研制的性能优良的冲模材料。

在模具标准化和专业化生产方面，已经得到模具行业的广泛重视。这是由于模具标准化是组织模具专业化生产的前提，而模具的专业化生产是提高模具质量，缩短模具制造周期，降低成本的关键。我国已经颁布了冷冲压术语、冷冲模零部件的国家标准。冲模的专业化生产正处在积极组织 and 实施之中。但总的来说，我国冲模的标准化和专业化水平还是比较低的。

在模具的计算机辅助设计 (CAD) 与计算机辅助制造 (CAM) 方面，已引起国内外模具行业的极大重视。可以说，计算机辅助设计与制造是冲压工艺编制及冲模设计与制造走向全盘自动化的重大措施。由于采用了 CAD/CAM 技术，不仅使冲模设计和制造周期大为缩短，而且提高了质量。因而它的开发和应用成为当前冲模乃至其它模具技术发展中引人注目的课题。在我国，一些大专院校、科研和企业单位正积极进行这方面的研究开发工作，并取得了一定的成果。可以预计，模具的 CAD/CAM 技术将会较快发展。但由于这项新技术的开发和应用需要做大量的理论工作和基础工作，耗资大，目前基本上处于研究开发阶段。即使在工业发达国家，总的来说，尚未达到普遍应用阶段。

3. 冲压设备和冲压生产自动化方面

性能良好的冲压设备是提高冲压生产技术水平的基本条件。高精度、高寿命、高效率的冲模需要高精度、自动化的压力机与之相适应。目前主要是从两个方面予以研究和发展：一方面是对目前我国大量使用的普通冲压设备加以改进，在普通压力机的基础上，加上送料装

量和检测装置, 以实现半自动化或全自动化生产; 改进冲压设备结构, 保证必要的刚度和精度, 提高其工艺性能, 以提高冲压件精度, 延长冲模使用寿命。另一方面是积极发展高速压力机和多工位自动压力机; 开发数控压力机及各种专用压力机, 以满足大批量生产的需要。

冲压生产的自动化是提高劳动生产率和改善劳动条件的有效措施。由于冷冲压操作简单, 坯料和工序件形状比较规则, 一致性好, 所以容易实现生产的自动化。冲压生产的自动化包括原材料的输送、冲压工艺过程及检测、冲模的更换与安装、废料处理等各个环节, 但最基本的是压力机自动化和冲模自动化。除了上述自动压力机和数控压力机之外, 适用于各种条件下自动操作的通用装置和检测装置, 如带料、条料或工序件的自动送料装置、自动出件与理件装置、送料位置和加工结果检测装置、安全保护装置等都是实现普通压力机和冲模自动化的基本装置。在这方面, 国内实际生产应用情况表明, 其水平正在不断提高。

4. 冷冲压基本原理的研究

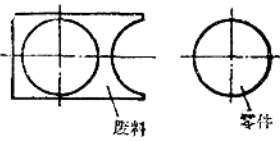
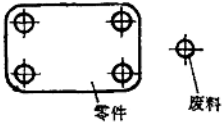
上述在冷冲压工艺及冲模设计与制造方面的发展与冲压变形基本原理的研究取得进展是分不开的。例如板料冲压工艺性能的研究, 冲压变形力学分析方法和变形规律的研究, 从坯料变形规律出发进行坯料与冲模之间相互作用的研究, 在冲压变形条件下的摩擦、润滑机理方面的研究, 冲模材料及热处理、表面处理的研究等等, 都为冲压工艺和冲模设计的发展提供了理论依据。因此, 可以说, 冲压成形基本理论的研究是提高冲压技术的基础。在这方面, 国内外的学者进行了不少工作, 并取得了一定进展。

三、冷冲压基本工序的分类

由于用冷冲压加工的零件, 其形状、尺寸、精度要求、生产批量、原材料性能等各不相同, 因此生产中所采用的冷冲压工艺方法也是多种多样的。概括起来可以分为两大类: 分离工序和成形工序。分离工序是使板料按一定的轮廓线分离而获得一定形状、尺寸和切断面质量的冲压件 (俗称冲裁件)。成形工序是坯料在不破裂的条件下产生塑性变形而获得一定形状和尺寸的冲压件。

上述两类工序, 按冲压方式又具体分为很多基本工序, 见表1-1、表1-2和表1-3。

表1-1 分离工序

工序名称	工 序 简 图	特 点 及 应 用 范 围
落 料		将材料沿封闭轮廓分离, 该分离下来的部分大多是平板形的工件或工序件
冲 孔		将废料沿封闭轮廓从材料或工序件上分离下来, 从而在材料或工序件上获得需要的孔

(续)

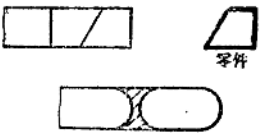
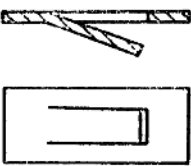
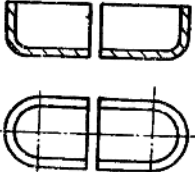
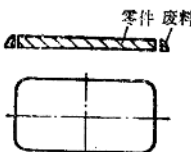
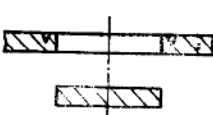
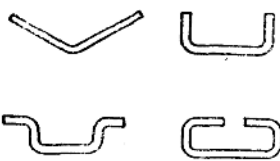
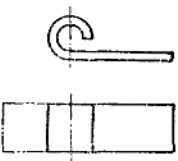
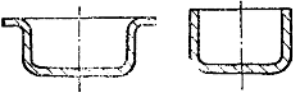
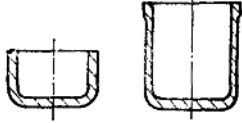
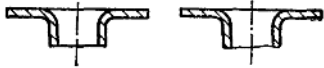
工序名称	工 序 简 图	特 点 及 应 用 范 围
切 断		将材料沿敞开轮廓分离，被分离的材料成为工件或工序件
切 舌		将材料沿敞开轮廓局部而不是完全分离，并使被局部分离的部分达到工件所要求的一定位置，不再位于分离前所处的平面上
切 边		利用冲模修切成形工序件的边缘，使之具有一定直径，一定高度或一定形状
剖 切		用剖切模将成形工序件一分为几，主要用于不对称零件的成双或成组冲压成形之后的分离
整 修		沿外形或内形轮廓切去少量材料，从而降低断面粗糙度，提高断面垂直度和工件尺寸精度
精 冲		用精冲模冲出尺寸精度高，断面光洁且垂直的零件

表1-2 成形工序

工序名称	工 序 简 图	特 点 及 应 用 范 围
弯 曲		用弯曲模使材料产生塑性变形, 从而弯成一定曲率、一定角度的零件。它可以加工各种复杂的弯曲件
卷 边		将工序件边缘卷成接近封闭圆形, 用于加工类似铰链的零件
拉 弯		在拉力与弯矩共同作用下实现弯曲变形, 使坯料的整个弯曲横断面全部受拉应力作用, 从而提高弯曲件精度
扭 弯		将平直或局部平直工序件的一部分相对另一部分扭转一定角度
拉 深		将平板形的坯料或工序件变为开口空心件, 或把开口空心工序件进一步改变形状和尺寸成为开口空心件
变薄拉深		将拉深后的空心工序件进一步拉深, 使其侧壁减薄, 高度增大, 以获得底部厚度大于侧壁的零件
翻 孔		沿内孔周围将材料翻成竖边, 其直径比原内孔大
翻 边		沿外形曲线周围翻成直立短边

(续)

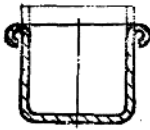
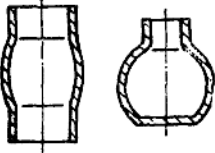
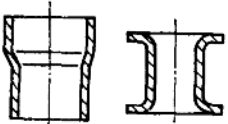
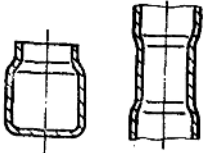
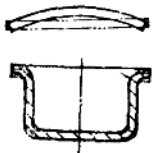
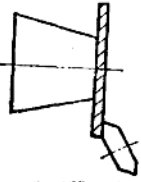
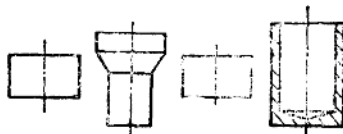
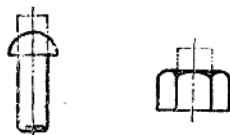
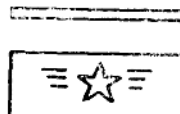
工序名称	工 序 简 图	特 点 及 应 用 范 围
卷 缘		将空心件上口边缘卷成接近封闭圆形, 用于加工类似牙杯的零件
胀 形		将空心工序件或管状件沿径向向外扩张, 形成局部直径较大的零件
起 伏		依靠材料的伸长变形使工序件形成局部凹陷或凸起
扩 口		将空心工序件或管状件敞开处向外扩张, 形成口部直径较大的零件
缩口缩径		将空心工序件或管状件口部或中部加压使其直径缩小, 形成口部或中部直径较小的零件
校平整形		校平是将有拱弯或翘曲的平板形零件压平以提高其平直度; 整形是依靠材料的局部变形, 少量改变工序件形状和尺寸, 以保证工件的精度
旋 压		用旋轮使旋转状态下的坯料逐步成形为各种旋转体空心件

表1-3 立体冲压

工序名称	工 序 简 图	特 点 及 应 用 范 围
冷 挤 压		对放在模腔内的坯料施加强大压力, 使冷态下的金属产生塑性变形, 并将其从凹模孔或凸、凹模之间间隙挤出, 以获得空心件或横断面面积较小的实心件
冷 墩		用冷墩模使坯料产生轴向压缩, 使其横断面面积增大, 从而获得类似螺钉、螺母等零件
压 花		压花是强行局部排挤材料, 在工件表面形成浅凹花纹、图案、文字或符号, 但在压花表面的背面并无对应于浅凹的凸起

在实际生产中, 当生产批量大时, 如果仅以表中所列的基本工序组成冲压工艺过程, 生产率低, 不能满足生产需要。因此, 一般采用组合工序, 即把两个以上的单独工序组合成一道工序, 构成所谓复合、连续、复合-连续的组合工序。

为了进一步提高劳动生产率, 充分发挥冷冲压的优点, 还可应用冷冲压方法进行产品的某些装配工作。视实际需要, 可以安排单独的装配工序, 也可把装配工序组合在连续组合工序中。

上述冲压成形的分类方法比较直观, 真实地反映出各类零件的实际成形过程和工艺特点, 便于制定各类零件的冲压工艺和进行冲模设计, 在实际生产中得到广泛的应用。但是, 冲压成形时, 材料受力情况和变形性质很复杂, 要分析和解决每一种成形的实际问题, 应把各种成形按其成形时变形区的应力和应变特点加以归类, 找出每一类成形工艺的共同规律和产生的问题及解决问题的办法。这就是另一种冲压成形的分类方法, 即把冷冲压成形方法分为伸长类变形和压缩类变形。这种分类方法能充分反映出各类成形变形区的受力与变形特点, 反映出同类成形的共同规律, 具有很大的实际意义。详细内容见后续有关章节。

四、学习要求和学习方法

学生学完冲压工艺及冲模设计之后, 应初步掌握冷冲压成形的基本原理; 掌握冲压工艺过程设计和冲模设计的基本方法, 具有设计一般复杂程度冲压件的工艺过程和一般复杂程度冲模的能力; 能够运用已学习的基本知识, 分析和解决生产中常见的产品质量、工艺及模具方面的技术问题; 能够合理选用冲压设备和设计一般的自动送料和自动出件装置; 了解冲压成形新工艺、新模具及其发展动向。

由于冲压工艺及冲模设计是一门实践性和实用性很强的学科, 而且它又是以金属学与热处理、塑性力学、金属塑性成形原理以及许多技术基础学科为基础, 与冲压设备、模具制造工艺学密切联系的学科, 因而在学时时必须注意理论联系实际, 认真参加实验、实习、设计等重要教学环节, 注意综合运用基础学科和相关学科的基本知识。

第二章 冷冲压变形基础

第一节 塑性、变形抗力及其影响因素

关于金属的结晶构造、塑性变形机理等，在金属学中已有介绍，故不再赘述。本节只讨论金属的塑性、变形抗力及其影响因素。

一、塑性变形、塑性、变形抗力的概念

在冲压技术中，经常见到塑性变形、塑性、变形抗力、柔软性等术语，它们的含义分别是：物体在外力作用下会产生变形，如果外力被取消后，物体不能恢复到原始的形状和尺寸，这样的变形称为塑性变形；物体具有塑性变形的能力称为塑性；所谓变形抗力，是指在一定的加载条件和一定的变形温度、速度条件下，引起塑性变形的单位变形力；柔软性应理解为金属对变形的抵抗能力，变形抗力越小，则柔软性越好。

塑性和柔软性是有严格区别的两个概念，变形抗力小的软金属可能塑性不好，而柔软性不好的硬金属可能有很好的塑性。例如，奥氏体不锈钢的塑性好而柔软性却差。

塑性不仅仅决定于变形物体的种类，并且与变形方式（应力应变状态）以及变形条件（变形温度和变形速度）有关。例如，铅通常具有很好的塑性，但在三向等拉应力作用下，却像脆性材料一样破裂，没有塑性变形。又如，极脆的大理石，在三向压应力作用下却能产生较大的塑性变形。这两个例子充分证明：材料的塑性，并非一种物质不变的性质，而是与物质种类、变形方式以及变形条件有关的一种物质状态。

塑性的大小可以用塑性指标来评定，而塑性指标可以通过各种试验方法求得。

二、影响金属塑性和变形抗力的因素

能否充分利用金属的塑性并在最小变形力的情况下获得所需的工件，是冲压加工中的一个重要问题。影响金属的塑性和变形抗力的因素很多，这里只讨论物理方面的因素。关于应力应变状态对塑性和变形抗力的影响将在下一节中介绍。

1. 金属组织

组成金属的晶格类型，杂质的性质、数量及分布情况，晶粒大小、形状及晶界强度等不同，金属的塑性就不同，一般来说，组成金属的化学成分愈复杂，对金属的塑性及变形抗力的影响也愈大。例如，纯铁比碳钢的塑性好、变形抗力低。

2. 变形温度

在冲压工艺中，有时也采用加热成形的方法。加热的目的是：提高塑性，增加材料在一次成形中所能达到的变形程度；降低材料的变形抗力；提高工件的成形准确度。此外，在某些工序中（如差温拉深）也有采用局部冷却的方法，提高板料危险断面的强度，以增加板料在一次成形中所能达到的变形程度。

弹性范围内，温度增加，使金属的弹性模数下降。塑性范围内，温度增加，主要影响金属的软化作用并使金属发生物理化学变化。

金属的软化与冷作硬化恰好相反，软化表现为金属的强度指标降低，塑性指标增加。这

是因为, 随温度增加, 金属内部出现了回复、再结晶, 增加了新的滑移系统, 产生了热塑性等现象的结果。

当金属受热时, 晶粒本身和晶粒之间产生了各种物理化学变化。例如, 析出扩散异相, 溶解自由相及晶间杂质, 氧化与脱碳等。这些物理化学变化对于塑性变形的影响, 视金属的具体性质而异。例如低碳钢, 在 $200\sim 400^{\circ}\text{C}$ 之间时, 因为时效作用(夹杂物以沉淀的形式析出, 产生沉淀硬化), 使变形抗力增加, 塑性降低, 这一温度范围称为蓝脆区。而在 $800\sim 950^{\circ}\text{C}$ 的范围内, 又会出现红脆, 使塑性降低。其原因是, 铁与硫形成的化合物 FeS 几乎不溶于固体铁中, 形成低熔点的共晶体($\text{Fe} + \text{FeS} + \text{FeO}$), 如果处在晶粒边界的共晶体熔化, 就会破坏晶粒间的结合。因此, 选择变形温度时, 碳钢应避免蓝脆和红脆区。

总之, 为了提高材料的变形程度, 减小材料的变形抗力, 在决定变形温度时, 必须根据不同材料的温度-机械性能曲线、加热对材料可能产生的不利影响(如氢脆、晶间腐蚀、氧化、脱碳等)以及材料的变形性质作出正确的选择。

3. 变形速度

严格说来, 变形速度是指单位时间内应变的变化量。但在实际应用中困难较大, 故通常以压机滑块的移动速度近似说明金属的变形速度。

由于变形速度对金属塑性变形的影响比较复杂, 不同学者的研究结果出入很大, 难以提供确切的资料。一般凭生产经验, 通常是:

(1) 对于小零件的冲压工序, 例如冲裁、弯曲、拉深、翻边等, 一般可以不考虑速度因素, 只需考虑设备的构造、公称压力、功率等。

(2) 对于大型复杂零件的成形, 宜用低速。因为大尺寸复杂零件成形时, 坯料各部分的变形极不均匀, 易于产生局部拉裂或起皱。为了便于控制金属的流动情况, 以采用低速压力机或液压机为宜。

(3) 对于加热成形工序, 如加热拉深、加热缩口等, 为了使坯料中的危险断面能及时冷却强化, 宜用低速。

(4) 对于变形速度比较敏感的材料, 如不锈钢、耐热合金、钛合金等, 加载速度不宜超过 0.25m/s 。

4. 尺寸因素

同一种材料, 在其它条件相同时, 尺寸越大, 塑性越差。这是因为, 材料尺寸越大, 组织和化学成分越不一致, 杂质分布越不均匀, 应力分布也不均匀。例如厚板冲裁, 产生剪裂纹时凸模挤入板料的深度与板料厚度的比值(称相对挤入深度)比薄板冲裁时小。

第二节 冲压成形的应力和应变

在各种冲压过程中, 材料的塑性变形都是冲模对材料施加的外力所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, 为了研究和分析金属的塑性变形过程, 首先必须了解坯料内各点的应力状态和应变状态, 以及它们之间的关系。

一、应力状态

模具对材料施加的外力引起材料内产生内力, 单位面积上内力的大小称为应力。

坯料内每一点上的受力情况，通常称为点的应力状态。为研究变形体内各点的应力状态，假设从变形体内任意一点取出一个无穷小的六面体体素，体素的各个面与坐标平面平行。显然，在所取体素的六个面上，有着大小不同方向不同的应力，设为 S_x 、 S_y 、 S_z （图2-1a）。其中每一个应力又可分解为平行于坐标轴的三个分量，即一个正应力和两个切应力（图2-1b）。图中标示了三个面素上的各个应力分量，由于取出的体素为一无限小的六面体，那么在每一对互相平行的面素上，应力的各个分量之间只差一个无限小量，可以近似地认为它们彼此互等，因此其余三个面素上的应力分量也可同样地标示出来。由此可见，无论变形物体的受力状态如何，为了确定物体内部任意点的应力状态，只需知道九个应力分量（三个正应力，六个剪应力）即可。又由于所取体素处于平衡状态，绕体素各轴的力矩必定相等，因此剪应力互等：

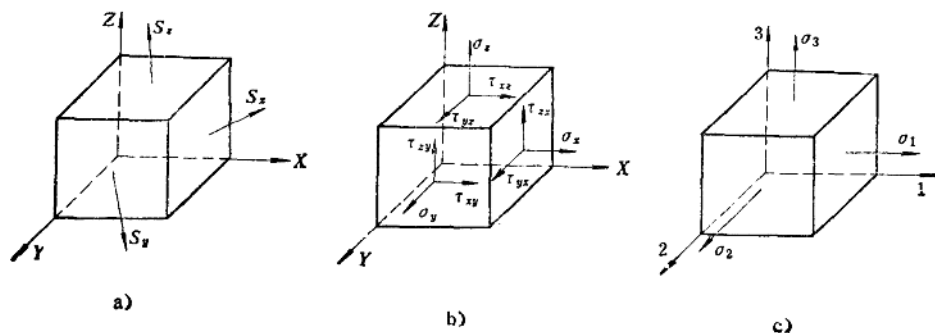


图2-1 点的应力状态与应力标号

a)、b) 任意坐标系 c) 主轴坐标系

$$\tau_{xy} = \tau_{yx}; \quad \tau_{xz} = \tau_{zx}; \quad \tau_{yz} = \tau_{zy}$$

于是，要充分确定变形体内任意一点的应力状态，实际上只需知道六个分量，即三个正应力和三个剪应力即可。

必须指出，如果坐标系选取的方向不同，虽然该点的应力状态并没有改变，但是用来表示该点应力状态的各个应力分量就会与原来的数值不同。不过，这些属于不同坐标系的应力分量之间是可以相互换算的。

采用任意坐标系，要求解六个应力分量，会使问题变得繁难。由塑性力学的分析可知，对任何一种应力状态来说，总存在这样一组坐标系，使微元体各表面上只出现正应力而无剪应力，如图2-1c)所示。这时，三个坐标轴就称为主轴；三个坐标轴的方向叫做主方向；三个正应力叫做主应力，一般按其代数值大小依次用 σ_1 、 σ_2 、 σ_3 表示，即 $\sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \sigma_3$ ；三个主应力的作用面称为主平面。带正号的正应力或主应力表示拉应力，带负号的正应力或主应力表示压应力。以主应力表示点的应力状态，大大简化了分析、运算工作。

应当指出，对于一点的应力状态来说，三个主方向和三个主应力的大小仅决定于该点的受力情况，与坐标轴的选择无关。换言之，一个应力状态，只有一组主应力。但坐标系选择不当，就会使问题的分析计算过程复杂化。而主轴位置的确定可通过对变形过程的分析近似确定或试验确定。

以主应力表示的应力状态称为主应力状态。表示主应力个数及其符号的简图，称为主应

力状态简图, 简称主应力图。可能出现的主应力图共有九种, 其中四个为三向主应力图, 三个为平面主应力图, 二个为单向主应力图, 如图 2-2 所示。

在大多数板料成形中, 其厚度方向的应力与其它两个方向的应力比较, 往往可以忽略不计, 近似看作平面应力状态, 其误差不大。平面应力问题的分析计算过程比三向应力问题简单, 为研究冲压成形的力学问题提供了方便。

单元体上三个主应力的平均值称为平均主应力, 用 σ_m 表示, 其值为:

$$\sigma_m = \frac{1}{3}(\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3) \quad (2-1)$$

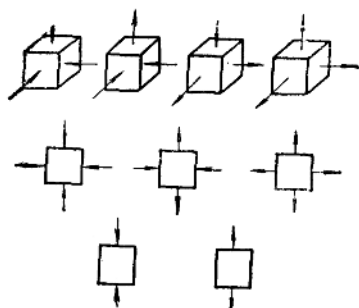


图 2-2 主应力图

任何一种应力状态都可以将其分解为两部分, 如图 2-3 所示。第一部分是以平均应力 σ_m 为各向应力值的三向等应力状态, 其特点是只能改变物体的体积, 不能改变物体的形状。第二部分是以各向主应力与 σ_m 的差值为应力值构成的应力状态, 其特点是只能改变物体的形状, 不能改变物体的体积。

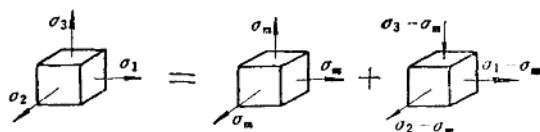


图 2-3 应力状态的分解

经试验证明, 应力状态对金属的塑性有很大的影响。主应力图对金属塑性的影响可按顺序排列为如图 2-4 所示的形式, 图中序号愈小, 塑性愈好。其规律是压应力的数目及数值愈大和拉应力数目及数值愈小, 金属的塑性愈好。不仅如此, 主应力图对金属的变形抗力也是有影响的, 在同号主应力图下引起变形, 所需的变形抗力之值较大, 而在异号主应力图下引起变形所需的变形抗力之值就比较小。

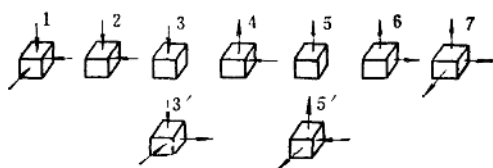


图 2-4 主应力对金属塑性影响的排列顺序

除主平面上不存在剪应力外, 微元体其它方向的截面上都有剪应力, 而且在与主平面成 45° 的截面上剪应力达到极大值, 称为主剪应力。主剪应力的作用面称为主剪应力面。主剪应力及其作用面共有三组, 如图 2-5 所示。主剪应力面上的应力情况如图 2-6 所示。

τ_{12} 作用的面, 平行于 3 轴与 1、2 轴相交成 $\pm 45^\circ$; τ_{23} 作用的面, 平行于 1 轴与 2、3 轴相交成 $\pm 45^\circ$; τ_{31} 作用的面, 平行于 2 轴与 1、3 轴相交成 $\pm 45^\circ$, 主剪应力面上的主剪应力和正应力值分别为:

$$\left. \begin{aligned} \tau_{12} &= \pm \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2} \\ \tau_{23} &= \pm \frac{\sigma_2 - \sigma_3}{2} \\ \tau_{31} &= \pm \frac{\sigma_3 - \sigma_1}{2} \end{aligned} \right\} \quad (2-2)$$