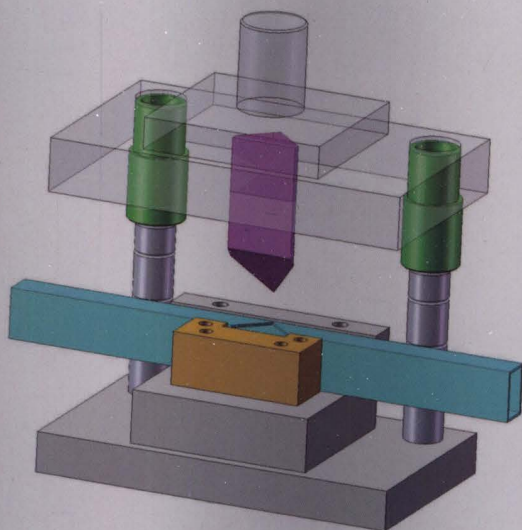


冲压成形 与模具设计

CHONGYA CHENGXING
YU MUJU SHEJI

冯全元 编著



内容由浅入深 · 循序渐进
资料典型丰富 · 实用性强

 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

冲压成形与模具设计

冯全元 编著



机械工业出版社

本书从实际运用的角度出发,深入浅出地介绍了冲压成形及其模具设计技术。本书的主要内容包括:冲压基本知识、冲裁与剪切、弯曲、拉深、翻边、胀形、缩口与扩口、卷边、辗压、成形。本书按照冲压工艺的作业顺序编写,结构体系合理,图表丰富,具有实用性、先进性、使用可靠性和简单易学的特点。

本书可供从事冲压生产的工程技术人员和工人使用,也可作为相关专业在校师生及研究人员的教学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

冲压成形与模具设计/冯全元编著. —北京:机械工业出版社, 2015. 7

ISBN 978 - 7 - 111 - 50734 - 5

I. ①冲… II. ①冯… III. ①冲压 - 工艺②冲模 - 设计 IV. ①TG38

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 147301 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:陈保华 责任编辑:陈保华 高依楠 崔滋恩

版式设计:霍永明 责任校对:任秀丽 陈秀丽

封面设计:马精明 责任印制:康朝琦

北京京丰印刷厂印刷

2015 年 10 月第 1 版·第 1 次印刷

169mm×239mm·16.75 印张·370 千字

0 001—3 000 册

标准书号:ISBN 978 - 7 - 111 - 50734 - 5

定价:46.00 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

策划编辑:010-88379734

封面无防伪标均为盗版

网络服务

机工官网:www.cmpbook.com

机工官博:weibo.com/cmp1952

金书网:www.golden-book.com

教育服务网:www.cmpedu.com

前 言

冲压成形是一种生产率很高的加工工艺。其优点是：操作简便，制品尺寸精度稳定，成本低廉。冲压成形可在材料耗费不大的情况下，获得强度高、刚度大而质量轻的零件，并可形成单机自动化和自动生产线生产。冲压成形产品已覆盖国计民生的方方面面，大到航空航天，小到衣食住行。

作者长期从事冲压成形设计、工艺督导、模具制造工作，30 余年间，游历了广东、福建、浙江、上海等省市的数十家模具厂，收集了大量第一手资料，总结了同行的成功经验。为了拾遗补缺，作者将历年所得进行了科学的总结归纳，去粗取精，编写了本书。书中列举的各种方法，都经过作者本人亲自实践，具有极强的可靠性和操作性。

全书包括冲压基本知识、冲裁与剪切、弯曲、拉深、翻边、胀形、缩口与扩口、卷边、辗压、成形共 10 章。在冲裁与剪切、弯曲两章中，介绍了当前应用量较大的管材加工的相关技术。在拉深一章中，将拉深槛与拉深肋单列为一小节，详细讲解了两者的不同特点和应用条件。对于翻边、胀形、缩口与扩口、卷边、辗压、成形等内容，在以前的相关技术图书中都在成形一章中介绍，本书将这些内容单列成章，进行了详细的分析与探讨。每章各附有典型结构一节，在众多冲压技术图书中独树一帜。

本书减少了烦琐的计算，代之以经验数据或计算机辅助设计方法；减少了模具加工手工作业内容，代之以现代市场条件下的电化学加工等较先进的技术手段。

在本书编写过程中，参考了大量的相关文献，谨向这些文献的作者表示衷心的感谢！

由于作者水平有限，书中难免存在错误和不足，敬请读者批评指正。同时，作者负责对书中所有内容提供技术咨询和答疑。作者的电子邮箱：feng1101889@163.com。

作 者

目 录

前言

第 1 章 冲压基本知识	1
1.1 冲压模具简史	1
1.2 冲压基本工序的分类	1
第 2 章 冲裁与剪切	5
2.1 冲裁件的工艺性	5
2.2 冲裁模的基本形式	7
2.2.1 凸模运动方向	7
2.2.2 冲裁模分类	8
2.2.3 冲裁模选型	8
2.3 冲裁间隙	9
2.3.1 凸、凹模间隙值	9
2.3.2 经济级工件快速计算凸、凹模间隙值	10
2.3.3 选择间隙方向的原则	10
2.4 冲压力	11
2.5 剪切	12
2.5.1 剪切的几种基本方式	12
2.5.2 剪切刃口形式	12
2.6 冲裁模具装配与上机安装	19
2.6.1 模具装配的一般程序	19
2.6.2 单工序模装配	20
2.6.3 复合模装配	23
2.6.4 冲裁模上机安装	26
2.7 冲裁模典型结构	26
2.7.1 落料、切边模典型结构	26
2.7.2 冲孔模典型结构	29
2.7.3 其他冲裁模	33
2.7.4 无凹模冲裁	37
2.7.5 剪切模典型结构	38
第 3 章 弯曲	41
3.1 弯曲方法与变形特点	41
3.1.1 弯曲方法	41
3.1.2 弯曲变形的特点	41
3.2 弯曲件的工艺性	42

3.3 弯曲力的计算	45
3.4 弯曲件展开长度计算	46
3.5 弯曲件的工序安排	49
3.6 弯曲模工作部分的设计	50
3.6.1 凸、凹模的圆角半径	51
3.6.2 凹模深度	51
3.6.3 凸、凹模间隙	52
3.6.4 弯曲模脱料方式	53
3.6.5 弯曲模定位件	55
3.6.6 常用形式弯曲模设计	56
3.7 弯曲模典型结构与工艺	58
3.7.1 弯曲模典型结构	58
3.7.2 闭环形工件弯曲模	66
3.7.3 扣缝模	71
3.7.4 薄板橡胶弹性体对辊弯曲	73
3.7.5 手工弯曲	73
3.7.6 冷绕弹簧回弹直径估算公式	74
3.7.7 弯曲件典型工艺	74
3.8 管材弯曲	82
3.8.1 曲率与弯曲方式	82
3.8.2 管材弯曲表象和最小弯曲半径	82
3.8.3 薄壁管材弯曲模的选型	82
3.8.4 矩形管材弯曲模型芯中凸高度的计算	83
3.8.5 回旋超过 360° 的绕弯	85
第 4 章 拉深	87
4.1 拉深基础知识	87
4.1.1 拉深在冲压生产中的用途	87
4.1.2 变形过程受力分析	87
4.1.3 拉深件材料厚度曲线	89
4.1.4 拉深工作原理运用	89
4.2 坯料尺寸的确定	90
4.2.1 拉深件毛坯尺寸计算的原则	90
4.2.2 修边余量	91
4.2.3 坯料尺寸的快速估算	92
4.3 拉深模的基本形式与选型	93
4.3.1 拉深模分类	93
4.3.2 拉深模选型	96
4.4 拉深模工作零件与参数	97
4.4.1 凸模	97

4.4.2	凹模	99
4.4.3	凸、凹模间隙	104
4.4.4	压边圈	105
4.4.5	压边装置的出力方式	108
4.4.6	坯料定位	109
4.4.7	推料板	110
4.4.8	顶杆	110
4.5	拉深模设计	111
4.5.1	压边力的计算	111
4.5.2	拉深力计算	111
4.5.3	拉深系数	111
4.5.4	拉深次数与工序尺寸的确定	113
4.5.5	曲面旋转体拉深	117
4.5.6	拉深槛与拉深肋	121
4.5.7	多道次拉深系数的积	127
4.5.8	拉深模中的数据关联性	128
4.5.9	典型拉深件工艺	129
4.6	拉深模的安装方法及其他	132
4.7	拉深失败原因分析	133
4.7.1	快速分析拉深件破裂的原因	133
4.7.2	拉深不良品原因分析	134
4.8	拉深模的保管	135
第5章	翻边	136
5.1	孔翻边	136
5.1.1	翻孔（边）系数	137
5.1.2	预制孔径尺寸的确定	138
5.1.3	翻边（孔）力	139
5.1.4	凸、凹模间隙	139
5.1.5	翻孔凸模和凹模结构要点	140
5.1.6	变薄翻孔	141
5.2	其他翻边	147
5.2.1	伸长性翻边	147
5.2.2	压缩性翻边	148
5.2.3	压缩性翻边的极限高度与工件弯曲半径的对应关系	149
5.2.4	滚轮翻边	150
5.3	翻边模典型结构	151
第6章	胀形	160
6.1	胀形方法分类	160
6.2	胀形工艺的特点	162

6.3 胀形系数	163
6.4 胀形坯筒尺寸	164
6.5 胀形力	166
6.6 胀形模设计	166
6.6.1 硬模胀形设计	166
6.6.2 软模胀形设计	168
6.6.3 液压胀形设计	175
6.7 胀形模典型结构	177
6.7.1 硬模胀形典型结构	177
6.7.2 软模胀形典型结构（橡胶弹性体胀形模）	179
6.7.3 液压胀形典型结构	191
第7章 缩口与扩口	195
7.1 缩口	195
7.1.1 缩口变形程度	195
7.1.2 缩口后在长度与厚度方向上的变形	197
7.1.3 缩口力	197
7.1.4 缩口模设计	197
7.1.5 缩口模典型结构	198
7.1.6 滚轮缩口与缩径	204
7.1.7 旋锻缩口	206
7.1.8 行星轮旋压缩口模	207
7.1.9 加热旋压缩口与封口	207
7.2 扩口	209
7.2.1 扩口变形程度	209
7.2.2 扩口力	210
7.2.3 扩口凸模锥角与材料抗拉强度的关系	211
7.2.4 管坯尺寸	211
7.2.5 扩口模常用结构	212
第8章 卷边	214
8.1 卷边	214
8.1.1 卷边展开长度计算	214
8.1.2 硬模卷边	215
8.1.3 滚轮卷边	216
8.1.4 滚轮卷边工艺的前道工序——预弯	218
8.2 卷边模典型结构	220
第9章 辗压	227
9.1 辗压加工的作业范围	227
9.2 辗压模具设计	228
9.3 辗压工艺对机床的要求	228

9.4 装饰线辗压	229
9.5 螺纹辗压	230
9.6 焊缝辗压模	232
9.7 辗压包覆模	233
9.8 G 型玻璃盖不锈钢圈与锅具的配合角度的滚压模具	233
9.9 辗压代替折边——摩托车链盒扣合模	234
9.10 辗压成形	235
9.11 管型材无芯辗压	236
9.12 管材改型辗压机	237
第 10 章 成形	239
10.1 成形的定义	239
10.2 起伏成形	239
10.3 压印	242
10.4 成形模典型结构	243
参考文献	257

第1章 冲压基本知识

1.1 冲压模具简史

模具技术在生产中的应用有着十分悠久的历史。原始社会末期，人类还处在农耕和手工业作坊雏形阶段，就懂得使用模具了。

在西安市的半坡博物馆，有为数不少印有指甲痕的尖底瓶和绳纹陶罐。当时的人们还创造了十分精良的工具——陶铤。

这三种陶器都是古人将塑制好的泥坯风干到半干状态，在尚有良好塑性的时候，用最原始的模具——指甲、野草或树皮搓成的绳和小米壳制造的。

近年来有学者归纳指出，板料、模具和设备是冲压加工的三个要素；套用这个模式，同样也可以说，材料、模具和行程是得到一致产品的三大要素。

以今天的眼光来看，半坡博物馆的古物未免粗糙，但是细细地分析，古人对陶制品的装饰是完全符合今天的冲压模具定义的：

- 1) 材料一致。
- 2) 模具一致。
- 3) 工作行程一致。

正是古人先知先觉地做到了，所以才有了我们今天看到的这些令人惊讶的文物。

随着时间的流逝，生产力的提高，模具的应用领域在不断拓宽；到明清之际，模具加工已大量应用于服饰制造业；如当时流行的铜纽扣、女人们穿戴的云帔上的银饰品，都是将铜、银等延展性好的金属先辗成薄片，覆在凹模上，然后捶击凸模进行加工的。对形状复杂的佛像等小型饰品，则是先将凹模雕刻成形，然后将银箔铺在模具上，再用锡或铅一类的软金属团来挤压银箔成形。

在封建统治下，模具在我国不可能有大规模的发展。新中国成立以后，模具加工才成为一个独立的行业，并催生了不少颇具规模的专业模具生产厂家。尤其是改革开放以来，模具行业在我国得到飞速的发展，制品遍及汽车、电动机、电器仪表、电子、通信、家用电器、炊具等行业和轻工业、军备制造业，极大地提升了国民经济的实力，增强了国防力量，改善了人民的生活品质。

1.2 冲压基本工序的分类

由于冲压加工的零件形状及尺寸、精度要求、批量大小、原材料性能等不同，所采用的冲压工艺方法是多种多样的。冲压工序基本上可以分两大类型：分离工序和成形工序。

分离工序是指金属板料受力后，应力超过材料的抗剪强度而使板料发生剪裂或局部剪裂。其目的是在冲压过程中，使工件（或坯料）与板料沿一定的轮廓线相分离。根据所要求的断面质量，这种分离工序又可分为以破坏形式实现分离的普通冲裁及以变形形式实现分离的精密冲裁两种形式。而每种工序又包括很多冲裁形式，如落料、切边、冲孔等。

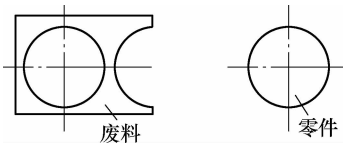
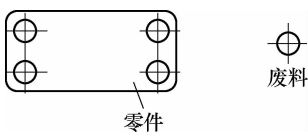
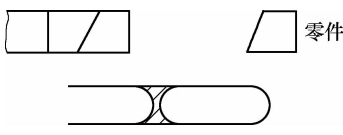
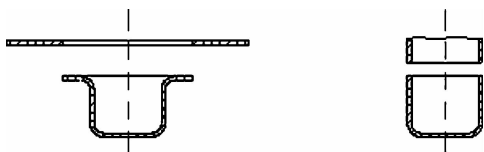
成形工序是指坯料受外力后，应力超过了材料的屈服强度，经过塑性变形，成为具有一定形状的加工工序。其目的是使冲压坯料在不产生裂纹的条件下，发生塑性变形并转化成为所要求的工件形状。这种变形形式很多，如弯曲、拉深、冷挤压、胀形等工序。

为了进一步提高冲压生产效率，有时常常把两个以上基本工序合并成一个工序，即称为复合工序，如落料→冲孔，落料→拉深→切边以及落料→冲孔→弯曲等。这些不同工序的复合可根据工件所要求的实际情况来进行，多数是通过改进冲模结构来实现的。复合工序赖以生产的模具称为复合模，是一种很有发展前途的高效模具，它可以大大提高生产效率和降低工件的成本，便于自动化生产。

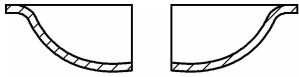
综上所述，冲压工序按冲压变形方式可分为如下两种基本型：

1) 分离工序，包括切断、剖切、落料、冲孔、切舌、切边、整修、剪边、圆盘剪裁、滚剪、摇剪和分条等，见表 1-1。

表 1-1 分离工序

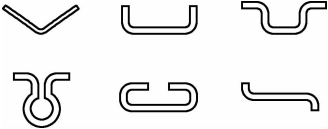
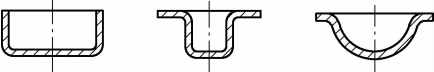
工序名称	简 图	特点及应用范围
落 料		用冲模沿封闭轮廓曲线冲切，冲下部分是零件，用于制造各种形状的平板零件
冲 孔		用冲模按封闭轮廓曲线冲切，冲下部分是废料
切 断		用剪刀或冲模沿不封闭曲线切断，多用于加工形状简单的平板零件
切 边		将成形零件的边缘修切整齐或切成一定形状

(续)

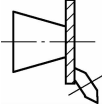
工序名称	简 图	特点及应用范围
剖 切		把冲压加工成的半成品切开成为两个或数个零件,多用于对称零件的成双或成组冲压成形之后

2) 成形工序,包括冷挤压、弯曲、拉深、翻边、胀形、缩口、辗压、卷边、起凸和压印等,见表1-2。

表1-2 成形工序

工序名称	简 图	特点及应用范围
弯 曲		把板料沿直线弯成各种形状,可以加工形状较为复杂的零件
卷 圆		把板料端部卷成接近封闭的圆头,用以加工类似铰链的零件
扭 曲		把冲裁后的半成品扭转成一定角度
拉 深		把板料毛坯成形为有一定容积的各种空心的零件
变薄拉深		把拉深加工后的空心半成品,进一步加工成为底部厚度大于侧壁厚度的零件
翻 孔		将预先冲孔的板料半成品或未经冲孔的板料,冲制成竖立的边缘
翻 边		把板料半成品的边缘,按曲线或圆弧成形为竖立的边缘
拉 弯		在拉力与弯矩共同作用下实现弯曲变形,可得精度较好的零件
胀 形		在双向拉应力作用下实现变形,成形各种空间曲面形状的零件

(续)

工序名称	简 图	特点及应用范围
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
扩 口		在空心毛坯或管状毛坯的某个端口上,使其径向尺寸扩大
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
旋 压		在旋转状态下,用辊轮使毛坯逐步成形
校 形		校正零件形状,以提高已成形零件的尺寸精度或获得小的圆角半径

第 2 章 冲裁与剪切

2.1 冲裁件的工艺性

冲裁件的工艺性是指冲裁工艺的适应性。

在一般情况下，对冲裁件工艺性影响最大的是几何形状尺寸和精度要求。良好的工艺性应能满足材料较省、工序较少、模具加工容易、寿命长、操作方便及产品质量稳定等性能和要求。

1) 冲裁件的几何形状不宜过大。冲裁件的获得是利用模具在机械或液压压力机上工作产生的；其外形尺寸大小受到压力机工作台大小的限制。其厚度受到压力机出力总吨位的限制。所以，一次完成的封闭曲线，边线长度超过 1500mm、厚度超过 10mm，就有必要考虑采用其他加工方式。

2) 冲裁件各直线或曲线的连接处，宜有适当的圆角半径 r 。工件的圆角半径若设计过小或不带圆角，则会给模具加工带来困难。尖角过渡会使凹模热处理时发生淬裂，同时，在冲压时尖角也容易磨损、崩缺，严重影响工件的加工精度和模具寿命。只有在采用少无废料排样或在镶拼模结构时不要圆角。常用金属材料冲裁件的最小圆角半径见表 2-1。

表 2-1 常用金属材料冲裁件的最小圆角半径

连接角度	$\alpha \geq 90^\circ$	$\alpha < 90^\circ$	$\alpha \geq 90^\circ$	$\alpha < 90^\circ$
简图				
低碳钢	$0.30t$	$0.50t$	$0.35t$	$0.60t$
黄铜、铝	$0.24t$	$0.35t$	$0.20t$	$0.45t$
高碳钢、合金钢	$0.45t$	$0.70t$	$0.50t$	$0.90t$

注： t 为材料厚度。

3) 冲裁件形状应尽可能设计得简单、对称，使排样时废料最少，如图 2-1 所示。

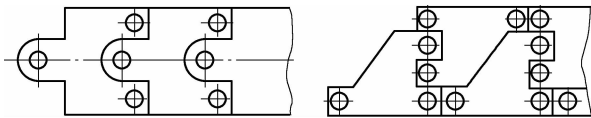
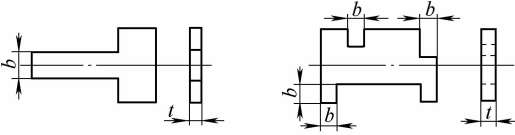


图 2-1 少废料冲裁的排样

4) 冲裁件凸出或凹入部分宽度不宜太小，应避免过长的悬臂与狭槽，见表 2-2。

表 2-2 冲裁件悬臂和凹槽的最小宽度

	材 料	宽度 b
	硬钢	$(1.5 \sim 2.0)t$
	黄钢、软钢	$(1.0 \sim 1.2)t$
	纯铜、铝	$(0.8 \sim 0.9)t$

如无特殊要求，冲裁材料为中碳钢时，悬臂与狭槽宽度应大于或等于 2 倍料厚；冲裁材料为黄铜、纯铜、铝、软钢时，其宽度应大于或等于 1.5 倍料厚。材料厚度不足 1mm 时，按 1mm 计算。

5) 腰圆形冲裁件，如果允许圆弧半径，则 R 应大于条料宽度的一半，否则会有台肩产生，如图 2-2 所示。如果限定圆弧半径等于工件宽度的一半，就不能采用少废料排样，否则会有台肩产生，整个工件必须在一个冲次中完成。

6) 冲孔时，由于受到凸模强度的限制，孔的尺寸不宜过小，其数值与孔的形状、材料的力学性能、材料的厚度等有关。

在不锈钢厨具制品生产中，冲孔直径 $\phi \geq 4t$ 。不同材料冲孔的最小尺寸见表 2-3。

表 2-3 冲孔的最小尺寸

材 料	自由凸模冲孔		精密导向凸模冲孔	
	圆 形	矩 形	圆 形	矩 形
硬钢	$1.3t$	$1.0t$	$0.5t$	$0.4t$
软钢及黄铜	$1.0t$	$0.7t$	$0.35t$	$0.3t$
铝	$0.8t$	$0.5t$	$0.3t$	$0.28t$
酚醛层压布(纸)板	$0.4t$	$0.35t$	$0.3t$	$0.25t$

注： t 为材料厚度（mm）。

7) 冲裁件的孔与孔之间，孔与边缘之间的距离不宜过小；在不锈钢厨具制品生产中， $a \geq 4t$ 。如图 2-3、图 2-4 所示为低碳钢冲裁件的孔与孔之间，孔与边缘之间的距离的最小值。

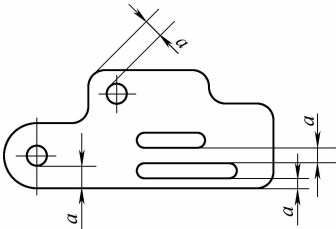


图 2-3 冲裁件的孔边距

注： $a = 2t$ 。

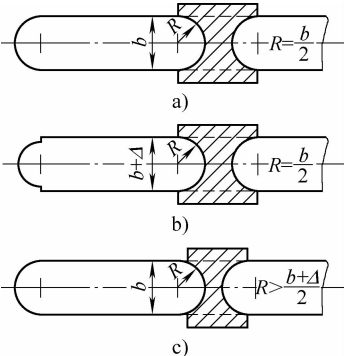


图 2-2 工件两端弧形与宽度的关系

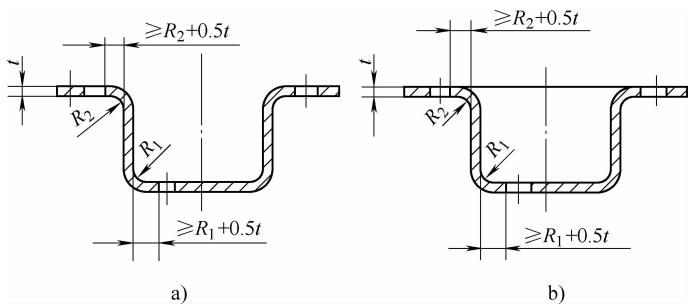


图 2-4 孔边距的最小值
a) 弯曲件 b) 拉深件

2.2 冲裁模的基本形式

2.2.1 凸模运动方向

凸模运动方向与冲裁模具的寿命关系极大。原则上，要求材料或半成品被剪切平面与凸模的轴线垂直，也就是说，工件冲裁平面与凸模的运动方向垂直。某些特殊情况下，这一条件得不到满足时，也要尽可能保证被剪切轮廓线的重心或对称中心与凸模轴线垂直，如图 2-5 所示。

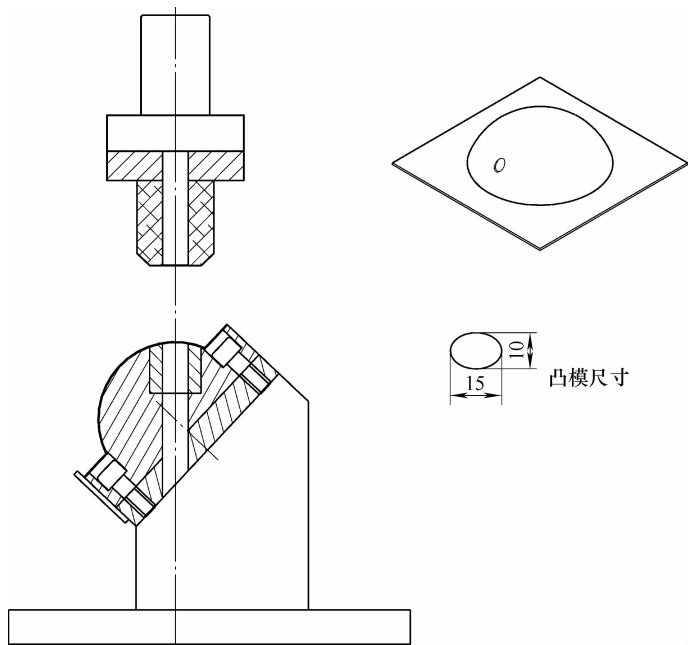


图 2-5 偏转工件轮廓线重心与冲裁方向垂直

为了满足凸模与冲裁平面垂直,致使凸模轴线不能与压力机滑枕或上工作台同一运动方向的情况下,应采用斜楔加滑块或斜楔加滚动轴承、滑套的方式加以解决。在冲裁模中,斜楔加滑块的形式在环形件冲孔模中比较多见,如图 2-6 所示,有时也用于大型覆盖件拉延后的冲孔与切边。

2.2.2 冲裁模分类

冲裁模的主要任务是使材料分离,在这个前提下,冲裁模的分类方式有很多种。

按工序性质分,冲裁模可分为落料模、冲孔模、切断模、整修模、精冲模等。

按工序组合形式,冲裁模可分为单工序模、复合模和级进模。

此外还有按导向方式、按挡料方式、按凸凹模所用材料来分类等多种分类方式。

本书中按出料方式来分类,这种分类方法可以简便、全面地分析不同形式模具的特点;在此基础上,冲裁模可分为如下类别:

- 1) 正装下出料模。
- 2) 正装上出料模。
- 3) 倒装复合模。
- 4) 倒装上出废料模。
- 5) 飞除废料模,即以切边方式将废料除去,在级进模中应用较多。
- 6) 级进模。
- 7) 筒式级进模。
- 8) 圆盘剪裁模。圆盘剪裁模又可分为滚剪模和摇剪模。

2.2.3 冲裁模选型

冲裁模选型是决定模具制造成本、模具寿命和操作方式的重要步骤;它关系到产品质量单件成本,甚至关系到操作者的人身安全,所以一定要经过深思熟虑才能做出最后决定。

基于以上对于冲裁模特点的分析,我们在选择冲裁模的工作方式时,可作以下考虑:

- 1) 无孔、平直度要求不高的工件选择下出料式落料模,例如拉深件、弯曲件坯片之类,这种模具结构简单,寿命长,安全系数高,操作和维修都较其他模具方便。
- 2) 孔间距或孔与轮廓边线精度要求高的工件,选择倒装落料冲孔复合模。
- 3) 有孔但尺寸精度要求不太高的工件,选择筒式步进模或倒装落料冲孔复合模。

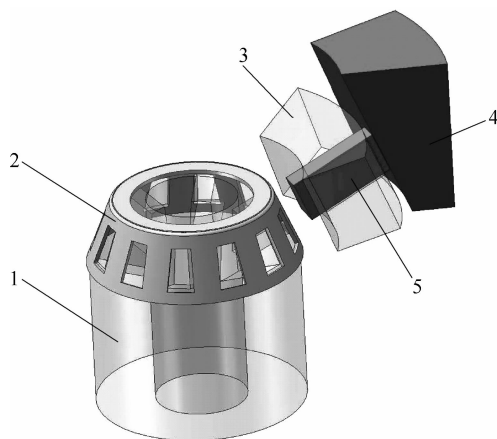


图 2-6 斜面与滑动凸模 (局部)

1—凹模 2—坯件 3—滑套 4—斜面圈 5—凸模

4) 孔间距精度要求高但与轮廓边线要求不高的工件, 选择简式级进模。

5) 挂耳窄小且中间有孔的工件, 采用飞除废料模或正装上出料模, 而不用正装下出料模。因为窄小的挂耳位置很容易堵塞凹模, 凸模受力增大, 导致凸模弯曲或凸、凹模间隙偏边。

6) 孔多且小或孔间距绝对值小于 6mm 的工件, 应考虑采用级进模。

7) 窄长形工件, 有两条最大边为直线的且与进料方向平行的, 应优先考虑采用分条料的截断模或级进模; 这样, 可以省去两长边的冲裁力, 有利于增加凹模强度, 不仅可以数倍地提高模具寿命, 而且工件质量更高, 精度更容易保证。

8) 利用边角余料冲裁, 可采用单工序模, 如正装上出料模、正装下出料模或复合模; 边角余料冲裁模一般不用导柱导套, 以扩大对于不规则材料的适应性。当需要采用导柱导向时, 必须安装导套, 不可在凹模上割出孔洞直接导向, 以防材料伸入导柱导套间隙造成事故。

9) 圆盘剪的刃口是一对滚轮, 通过调整与工件中心的位置来适应材料直径尺寸的变化。所以, 圆盘剪是一种通用性很强的材料分离模具。当剪切直径 $D \geq 350\text{mm}$, 就可考虑采用圆盘剪代替切边模; 这样不但可以节约大量模具材料的投入, 还可以省去落料模制作时间, 缩短工期。

10) 摇剪结构复杂, 设计与制造难度大, 适合于前道工序为拉深的、产品批量大、有较好的加工条件下采用。

11) 根据工件形状大小和复杂程度来决定模具类型, 一般情况下, 大型工件采用单工序模, 尺寸较小且形状复杂的工件, 常用复合模或级进模。

12) 选择冲裁模的工作方式, 还要根据产品批量作最后的决定。小批量生产时, 应力求模具结构简单, 成本低, 宜采用单工序模; 大批量生产时, 模具费用在冲裁件中所占比例较小, 可选用复合模或级进模。

2.3 冲裁间隙

冲裁间隙是指冲裁凸模和凹模之间的间隙 (见图 2-7), 如无特别说明, 一般指双边间隙。冲裁间隙不仅对冲裁件的质量有极重要的影响, 而且还影响模具寿命、冲裁力、卸料力和推件力等。因此, 间隙是冲裁模设计的一个非常重要的参数。

2.3.1 凸、凹模间隙值

从前面的冲裁分析中可看出, 当前从理论上还找不到一个固定的间隙值能同时满足冲裁件断面质量最佳, 尺寸精度最高, 翘曲变形最小, 冲模寿命最长, 冲裁力、卸料力、推件力最小等各方面的要求。

因此, 在冲压实际生产中, 主要根据冲裁件断

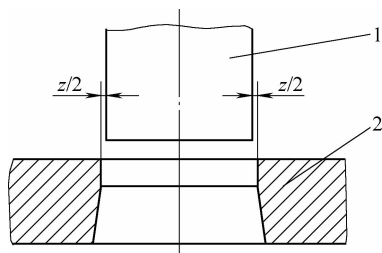


图 2-7 冲裁间隙

1—凸模 2—凹模

面质量、尺寸精度和模具寿命这几个因素给间隙规定一个范围值。只要间隙在这个范围内,就能得到合格的冲裁件和较长的模具寿命。这个间隙范围就称为合理间隙,合理间隙的最小值称为最小合理间隙,最大值称为最大合理间隙。设计和制造时,应考虑到凸、凹模在使用中会因磨损而使间隙增大,所以原则上应按最小合理间隙值确定模具间隙。

设计时选取的间隙越小,制造与装配精度越高,成本也会相应提高。间隙越小,模具的强度和精度要求也越高,寿命也就越短,维修的概率也越高;所以通常根据以下几条来选择冲裁间隙的级别。

(1) 材料的抗剪强度 抗剪强度越低,材料的拉深性能越好,产生披锋的可能性也越大,所以间隙应趋于小值。一般情况下,中等硬度铜材的冲裁间隙是同等厚度的钢材的70%,铝材则为60%。

(2) 工件的精度要求 用于电子行业、家用电器行业的制品,精度要求高,而用于户外用品,电力、农业机械等行业的制品,精度要求低些,相应地,模具间隙也可以趋大。

(3) 工件的面积与边线长度 工件的面积大或面积不大而边线较长,在模具制造与装配过程中产生误差或积累误差也较大,所以在选择模具间隙时也应趋大。(边线长度较大的矩形落料模例外。这是因为在冲裁时工件对凹模产生挤压力令直线类的凹模边框有胀大的趋势。)

(4) 工序件在工艺流程中所处的位置 冲裁产生的披锋,对下道工序的运行或产品出厂有不利影响时,模具间隙应趋小,若无不利影响时,间隙应趋大。

(5) 模具结构 设计时模具结构受到材料形状的制约,而不能保证凸凹模间隙处于良好状态时(例如管材切头、冲孔模,斜面上冲孔),间隙应取大一些。

2.3.2 经济级工件快速计算凸、凹模间隙值

在日常生产中,经济级工件占工作总量的80%以上,如果工件图形呈外接多边形,或有内接但凸耳或凹槽宽度不小于 $12t$ 的情况下,仍可按经济级工件计算,即凸、凹模的双面间隙 C 按料厚 t 的10%计算: $C=0.1t$ 。

当计算所得小于0.02mm时,应按照无间隙冲裁来处理,即应采用凸模不进入凹模的方式来设计模具。

无间隙冲裁的方法之一是采用多层材料叠冲;这种方法对于落料模来说是适用的,但对于冲孔模来说却要慎重。

无间隙冲裁要求机械压力机运动精度较高,滑枕与导轨的滑动间隙应为0.005~0.015mm,连杆与球碗的轴向间隙不大于0.02mm,不能太松。工作环境应干净整洁,进行冲裁时应添加少许润滑油,工作过程中应防止杂物或灰尘混入材料和润滑油中。

2.3.3 选择间隙方向的原则

1) 落料时以凹模尺寸为基准,凸模尺寸为凹模尺寸减去间隙值。

2) 冲孔时以凸模尺寸为基准，凹模尺寸为凸模尺寸增加间隙值。

2.4 冲压力

冲压力包括冲裁力、卸料力、推料力和顶料力。计算冲压力是选择压力机的基础，如图 2-8 所示。

1. 冲裁力

$$F = Lt\tau$$

式中 F ——冲裁力 (N)；
 L ——冲裁件周边长度 (mm)；
 t ——材料厚度 (mm)；
 τ ——材料抗剪强度 (MPa)。

2. 卸料力、推料力、顶料力

1) 卸料力是将箍在凸模上的材料卸下所需的力，即

$$F_{卸} = k_{卸} F$$

2) 推料力是将落料件顺着冲裁方向从凹模孔推出所需的力，即

$$F_{推} = nk_{推} F$$

3) 顶料力是将落料件逆着冲裁方向顶出凹模孔所需的力，即

$$F_{顶} = k_{顶} F$$

式中 $k_{卸}$ ——卸料力系数；
 $k_{推}$ ——推料力系数；
 $k_{顶}$ ——顶料力系数；
 n ——凹模内存件的个数， $n = h/t$ (h 为凹模刃口直壁高度， t 为工件厚度)；
 F ——冲裁力 (N)。

卸料力、推料力和顶料力系数见表 2-4。

表 2-4 卸料力、推料力、顶料力与冲裁力的比例

料厚/mm		$k_{卸}$	$k_{推}$	$k_{顶}$
钢	≤0.1	0.065 ~ 0.075	0.1	0.14
	>0.1 ~ 0.5	0.045 ~ 0.055	0.063	0.08
	>0.5 ~ 2.5	0.04 ~ 0.05	0.055	0.06
	>2.5 ~ 6.5	0.03 ~ 0.04	0.045	0.05
	>6.5	0.02 ~ 0.03	0.025	0.03
铝、铝合金		0.025 ~ 0.08	0.03 ~ 0.07	
纯铜、黄铜		0.02 ~ 0.06	0.03 ~ 0.09	

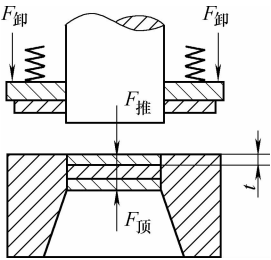


图 2-8 卸料力、推料力、顶料力

3. 冲压设备的选择

如果冲压过程中同时存在卸料力、推料力和顶料力时，则总冲压力 $F_{总}$ 计算公式为

$$\text{总冲压力 } F_{\text{总}} = F + F_{\text{卸}} + F_{\text{推}} + F_{\text{顶}}$$

这时，所选压力机的吨位须大于 $F_{\text{总}}$ 30% 左右作为所需的裕量。

当 F 、 $F_{\text{卸}}$ 、 $F_{\text{推}}$ 、 $F_{\text{顶}}$ 不同时出现时，则计算 $F_{\text{总}}$ 只加同一瞬间出现的 F 力即可。

生产中一般只对冲裁力进行详细的计算，而对卸料力只是在冲裁力的基础上给出一定的比例，连同冲裁所需的裕量，合并取 50%。即所选压力机的吨位计算公式为

$$F_{\text{压}} = F \times 150\% = 1.5F$$

2.5 剪切

2.5.1 剪切的几种基本方式

剪切是使板料或卷料通过专门剪切设备使其沿直线或曲线相互分离的一种冲压工艺。在冲压生产中，剪切工作是准备工序之一。这是因为，冲压件的冲裁、弯曲、拉深、成形等工序，原材料多数是以大张的板料或成卷料供应，这就要求在冲压前必须将这些原材料剪切成合乎尺寸要求的条料或块料，以便于下道工序的正常工作。因此，在有条件的大型企业，一般都设有专门的备料车间或工段，将剪切工作集中进行，便于生产的管理和原材料的合理利用。

基于生产批量大小与坯料的几何形状和尺寸的不同，剪切可以采用下面不同的方法进行。

(1) 手工剪切 手工剪切是利用手剪或手动台式剪床对材料进行的剪切分离操作。这种方法主要适用于小批量或数量不大的单件生产。手工只能剪切料厚在 0.8mm 以下的板料；其优点是简便，可以适应不同的尺寸和曲线要求。缺点是劳动强度太大，生产效率极低。

(2) 机床剪切 利用专用的机床剪切板料及卷料，是目前较普遍采用的方法。其主要剪切机床是裁板机（直刀剪床）和圆盘滚刀剪床（俗称分条机）。用这些专用机床进行板料的剪切，可以大大节省劳力，生产效率高，质量有保证。

(3) 手持震动剪切 手持震动剪是一种小型电动工具，操作灵活。主要用于卷板开片、分段，所得的剪切线可以是直线的，也可以是曲线的。这种备料方法适用于材料的套裁。筒形件拉深删除坯片套裁可将材料利用率提高约 5%，这对于贵重材料来说，经济效益是十分可观的。

2.5.2 剪切刃口形式

剪切刃口的形式可分为平刃剪切、斜刃剪切和滚轮剪切。

1. 平刃剪切

平刃剪切是指用两剪刀相互平行的刀片（见图 2-9）对板料或卷料进行分离的

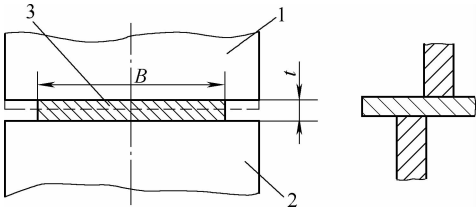


图 2-9 平刃剪切

1—上刀片 2—下刀片 3—板料

过程。这种平刃剪切方法，只能沿直线剪切。它适用于剪切宽度小而厚度较大的板料及卷料。

平刃剪切的剪切过程可分为三个阶段进行。

(1) 弹性变形阶段 剪切开始时，上刀片首先接触板料，并给板料施加压力，此压力由零增加到弹性极限，此阶段使材料发生弹性变形，如图 2-10a 所示。此时若去除压力，板料恢复原状。

(2) 塑性变形阶段 当上刀片继续下降时，剪刀对材料压力加大，这时板料所受压力超过弹性极限，使板料发生局部的塑性弯曲变形，同时上刀片的刃口开始压入板料内，如图 2-10b 所示。

(3) 板料的断裂阶段 上刀片压入材料至一定高度 h_0 后，由于应力集中，在剪刀尖处开始发生裂纹，当压力继续加大后，裂纹迅速扩张，最后使材料断裂成两部分，完成剪切工作，如图 2-10c 所示。

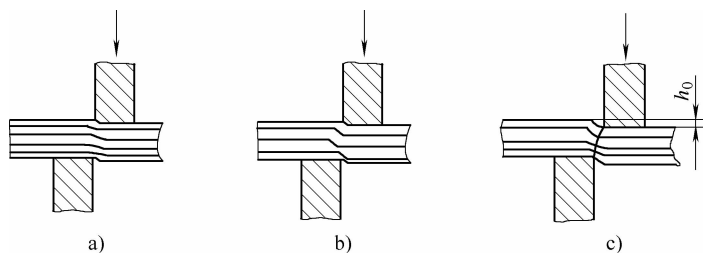


图 2-10 平刃剪切过程

a) 弹性变形阶段 b) 塑性变形阶段 c) 断裂阶段

平刃剪切条料断面质量的好坏，与材料本身的性质及上下刀片的间隙大小有关。一般情况下，被剪切的材料硬度越高，断面光泽区越窄，亦即剪切的过程时间越短。相反，材料硬度越低时，断面光泽区较宽，剪切的过程时间较长。此外，上下刀片的间隙对断面的质量有很大影响。合适的剪刀间隙，可使断面光泽较亮，很少有披锋及弯曲现象发生，并且条料板面平整。若间隙过小时，将使条料的断面断裂部分挤坏，并且使剪切力增大。间隙过大时，会使板料断裂处产生较严重的弯曲及拉伸现象，致使剪切边缘产生飞边及尺寸不符合要求。刀片间隙大小，根据板料的种类及厚度大小，一般取 $0.02t \sim 0.05t$ 。

2. 斜刃剪切

斜刃剪切与平刃剪切不同，斜刃剪切是指板料或卷料在上刀片与下刀片斜交成一定的角度的剪板机上进行剪切的过程。斜刃剪切时，其剪刀与被剪板料，不像平刃剪切那样，剪刀全部接触板料进行同时剪切，而是只一小部分接触板料逐渐进行剪切的，因而斜刃剪切比平刃剪切大大节省了剪切力。剪板机、手剪和台式手动剪床同属于斜刃剪切方式。

(1) 剪切过程 斜刃剪切的剪切过程，如图 2-11 所示。剪切开始时，上刀片和被

剪板料仅有一部分接触，然后板料的一边顺刃口发生裂纹，再继续剪切时，板料便随着上刀片的下行而裂口开，逐渐使板料分离成两部分，其各阶段的材料变形原理基本与平刃剪切相同。

(2) 剪切角 φ 用斜刃剪板机剪切板料，上刀片的工作行程，要比平刃剪板机大得多。这时上刀片的行程数值决定于剪切长度和剪切角 φ 的大小。在剪切的过程中，由于剪切角 φ 的存在，板料除了具有像平刃剪板机在剪切时材料发生相同的变形过程外，还有因上刀片的

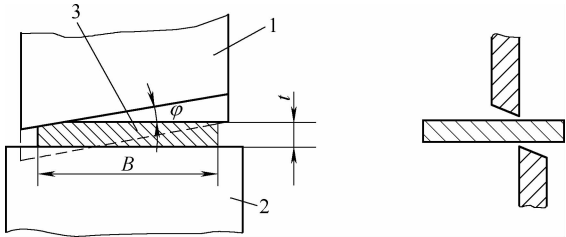


图 2-11 斜刃剪切

1—上刀片 2—下刀片 3—板料

压力而使条料产生向下弯曲的现象，从而使被剪条料发生变形、扭曲及拉伸现象，这是斜刃剪切最大的缺点。但由于它降低了剪切力，故是现在冲压生产中，采用最多的一种剪切备料方法。它常应用于宽度大而厚度小的板料和卷料剪切备料工作。

剪切角 φ 可以减少剪切力，并使剪切工作均匀和缓，但为了防止板料从剪刀中滑出和过分弯曲，角 φ 最大值不宜超过 12° 。角 φ 的大小与板料厚度有关。一般情况下，剪切 3 ~ 10mm 厚的板料，角 φ 为 $1^\circ \sim 3^\circ$ ；剪切 10 ~ 35mm 厚的板料，角 φ 为 $3^\circ \sim 5^\circ$ 。

(3) 剪刀角 β 如图 2-12 所示，剪刀角 β 的大小直接影响切削刃的强度、剪切质量和剪切力。剪刀角 β 的大小通常随材料硬度而定，当需要剪切较硬的板料时， β 应介于 $75^\circ \sim 85^\circ$ ；剪切很软的板料（如纯铜板、铝板等）， β 介于 $65^\circ \sim 75^\circ$ 。但剪刀角 β 在小于 90° 时，板料会受压而弯曲，并使板料从切口拨开，这种现象对于厚而窄的条料尤为显著，条料往往在冲裁后，需要经过校正。因此，在一般动力传动的剪板机上，为便于剪刀的修磨， β 常取 90° ；同时，为了减少剪刀上部与板料间的摩擦，应对刀片磨出后角 α 。一般 α 为 $1.5^\circ \sim 3^\circ$ 。

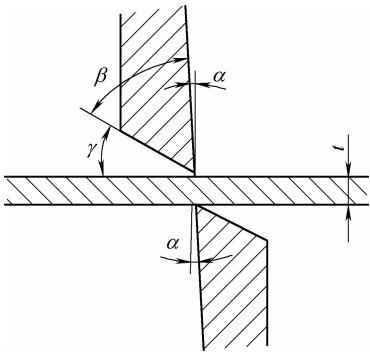


图 2-12 斜刃剪板机的刀片剪刀角

(4) 剪切力 平刃剪切所用剪切力可按下式计算：

$$F_{\text{平}} = KBt\tau$$

式中 $F_{\text{平}}$ ——剪切力 (N)；

B ——板料宽度 (mm)；

t ——板料厚度 (mm)；

τ ——材料的抗剪强度 (MPa)；

K ——系数，考虑到刃口变钝，剪刀间隙大小的变化，材料厚度和性能的波动等因素使剪切力增加。一般取 $K = 1.3$ 。

斜刃剪床剪切力的计算公式为

$$F_{\text{斜}} = K \cdot 0.6\tau \frac{t^2}{\tan\varphi}$$

式中 K ——剪刀磨钝系数，取 1.3；

φ ——剪刀倾斜角 ($^{\circ}$)。

一般情况下，剪切不需要计算剪切力，只要按剪床标出的主要规格 $t \times B$ 来选用即可。 t 表示容许剪切板料的最大厚度， B 表示容许剪切的宽度。但剪床设计时最大剪切板料厚度一般是根据 25 钢或 30 钢的抗剪强度设计的，所以若剪切超过设计强度的材料时，就不能按剪床标出的最大板料厚度来使用，此时就应根据剪切力计算的公式，换算出不同材料的最大剪切厚度。

3. 滚轮剪切

(1) 滚轮剪切的原理 滚轮剪切简称滚剪，也被称作圆盘剪切，是将材料在两个相反方向旋转的圆盘滚刀之间通过而被剪切开的剪切方法。这种方法，通常用于切割线极长的板料或卷料的纵向剪切，是材料准备的一种重要手段。其剪切原理如图 2-13 所示。

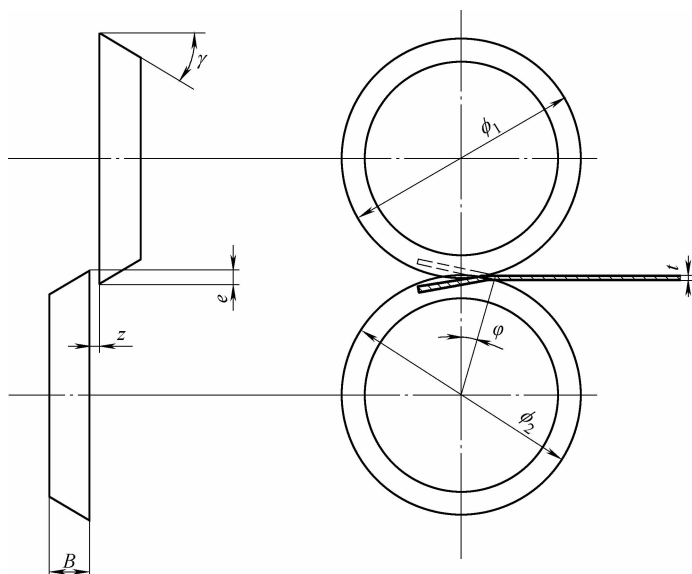


图 2-13 圆盘剪切原理

通常滚轮剪切的轴是相互平行的，并与剪切材料的平面相互平行。但也有把圆盘剪刀故意制作成倾斜的，以便用来进行曲线剪切工作。

滚轮剪切时，材料的送进是依靠旋转的圆盘滚刀与材料之间的摩擦力来完成的；为了保证剪切工作正常进行，必须使剪刀与材料的接触角 φ 小于 15° ，为此在设计圆盘滚刀时，应首先满足下列公式：

$$\frac{\phi_1 + \phi_2}{2} \geq 35t$$

一般取圆盘滚刀直径大于 $100t$ 以上。

另外,其他设计尺寸可分别取如下值:滚刀交错量为 $(0.2 \sim 0.3)t$;滚刀宽度为 $25 \sim 30\text{mm}$;滚刀间的间隙为 $(0.025 \sim 0.05)t$;滚刀倾角 $\alpha = 30^\circ \sim 45^\circ$ 。

其中,当滚刀交错量为零甚至两滚刀分开时,板料可在刀片内转动而能被剪切为任意曲线边缘的工件。

单滚式滚轮剪切机,只具有一对滚刀。由于配置角度不同,可剪切不同曲线或内孔轮廓边缘的坯料。图 2-14 所示为下滚刀斜置的圆盘滚剪机。图 2-15 所示为上、下滚刀均为斜置的圆盘滚剪刀机。这两种滚剪机均可剪切直线和曲线坯料。

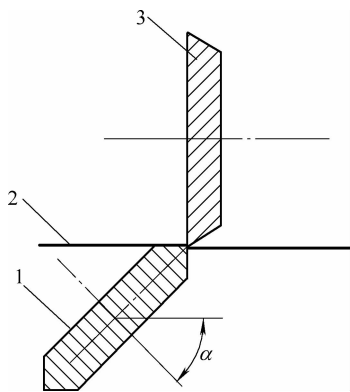


图 2-14 下滚刀斜置的圆盘滚剪

1—下滚刀 2—板料 3—上滚刀

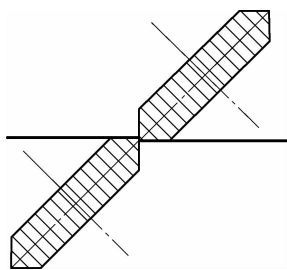


图 2-15 上、下滚刀均为斜置的圆盘滚剪

(2) 滚轮剪切应用范围 滚轮剪切可以进行下列工作:

1) 分条。滚轮剪切的一大特点是分切线不受模具大小的控制,可以做到无限长。根据这一原理,在上下轮轴上安排多对滚刀。按设定的宽度,圆盘剪切可将卷板料分割成多条并排的条料。每对滚刀刃口的距离就是条料的宽度,如图 2-16 所示。这一工序对于节约材料,提高工效有十分重要的意义,尤其是对于某些边线较长且与进料方向平行的冲裁件来说,可以节省大部分冲裁力。纵向分离过程中,滚轮刃口对材料会产生一部分水平拉力。处于板幅中间的条料,两侧的水平拉力呈平衡状态,而处于最外侧的剪切线则会因此失去平衡,所以最外侧的两对滚剪轮应带有约 75° 的剪刀角 β 。

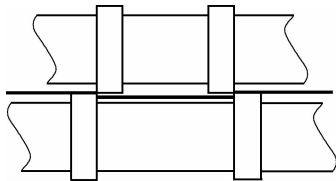


图 2-16 滚剪分条

2) 筒形件、杯形件滚剪。在不锈钢制品生产中,滚剪常用于直径 $\leq 400\text{mm}$ 的旋转体拉深件切边,如图 2-17 所示。

3) 盆类产品环剪。环剪可以代替大型拉深件的切边模,尤其是直径大于 400mm 的制件。在环剪中,上、下滚剪轮分别代替了凸模和凹模,可以节约大量模具钢材料以及热处理和金属切削加工费用。制件剪切直径越大,经济优势越明显。这是因为冲裁模具直径越大,凹模厚度和壁厚也越大,所需的上、下模座尺寸的也越大,

消耗的材料越多。

环剪通用性强,还可以节省设备的投入,以人力替代大型压力机(见图2-42)。以料厚1.0mm,直径800mm的工件为例,采用冲裁剪边,全套模具材料用量最少在500kg以上;所用的机床规格,也应在1500kN以上。而采用杠杆机构的滚剪,圆盘滚剪轮和支架可以是通用件,从某种意义上来说可以视为成本为零;从部件来说,滚剪只需要更换一件胎芯,即等于冲裁模中的顶料板。从出力方面看,用于滚剪手柄上的出力只需要50N左右;两相比较,环剪的优势不言而喻,尤其是在批量不大的情况下。

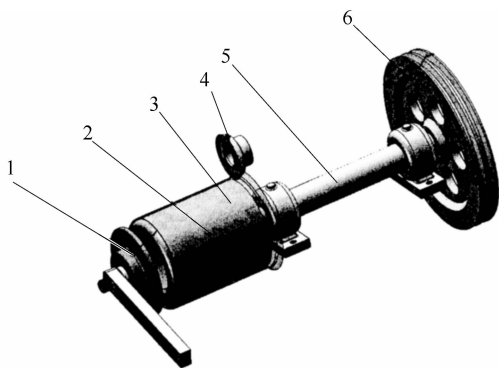


图 2-17 筒形件滚剪机

1—抵盘 2—承压轮 3—工件 4—上滚剪轮
5—主轴 6—带轮

4) 平板坯料环剪。平板坯料环剪的一大优点是,材料经剪切后可以直接进入翻边或卷边工序,滚剪模并不影响下道工序的实施,工件只需要进行一次装夹即可完成剪边、翻边或卷边工作,不存在重新对中的问题。

5) 环剪存在着最小工作直径问题,即加压滚剪轮直径应小于剪迹直径的1/5,否则将极易导致剪口不齐。滚剪轮直径与剪迹直径如图2-18所示。

(3) 滚剪轮加工 滚剪轮可分为加压轮和承压轮,或者称之为上滚剪轮和下滚剪轮。滚剪轮在热处理前应将预留的刃口宽度以外的地方挖空,以减少刃磨时的发热量。滚剪轮的径向和轴向的圆跳动均应小于0.02mm。

加压轮刃后角取 25° 为宜。刃口留 $(0.5 \sim 1)t$ 的直段或 3° 后角;可避免在材料分离时对材料产生拉动。滚剪轮一般宜作双轴承设计,以保证剪迹准确,工作可靠。如果确实受到条件限制只能使用单轴承时,应采用E级以上的精密滚动轴承。

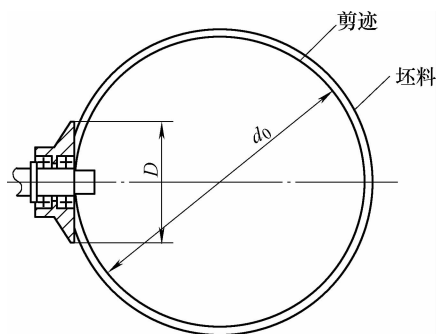


图 2-18 滚剪轮直径与剪迹直径

4. 摇剪

摇剪的正式名称是浮动式旋转体拉深件切边模(见图2-43)。根据质点在螺旋槽内的运动规律,使凸模与凹模之间发生位置的错动,借此来实现工件的分离。凹模在螺旋槽内的运动,好像竹签在签筒内摇动一样,因此这种剪切方法在生产中被称为摇剪。

与冲裁剪切不同的是,摇剪的凸模同样是做垂直运动的,但剪切面与水平面是平行的,所以被剪切工件的弧心角越大越好,或者说,切点与水平面的交角越接近直角越

好。摇剪通常被用来剪切切点与水平面的交角大于 40° 的拉深件，如深锥形件、碗形件等。

摇剪自带导柱导套，对机床精度要求不高。对于工件尺寸和外形具有一定的通用性，小于最大凹模尺寸的工件都可以通过更换凹模和凸模在同一副基座上实行剪切。

由于拉深件的不同象限的分离是在凸模下降的过程中的不同时段完成的，所以摇剪还可以用功率较小的压力机来剪切较大的工件。

摇剪的优点是工作可靠，刃口修复快，缺点是设计和制作都比较困难，尤其是工件直径较大的情况下，所以这种剪切方式多用于直径小于 300mm 的拉深件的剪边。

摇剪的制作要点如下：

1) 凸模与制件的半径差 e_1 ，不能大于螺旋滑块的偏心量，最好控制在滑块偏心量的 2/3 ~ 4/5 范围内（见图 2-19），即

$$e_1 \leq \frac{4}{5} e$$

式中 e ——螺旋滑块的偏心量。

- 2) 压料芯应调整到比凹模平面高出冲裁单边间隙的高度。
- 3) 螺纹升角不小于 3.5°。
- 4) 滑块外廓线与轴线的交角不大于 40° 且沿水平中线对称，如图 2-20 所示。

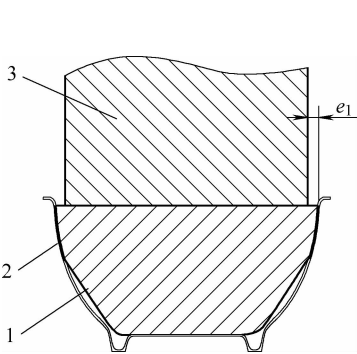


图 2-19 凸模与制件半径差
1—压料块 2—工件 3—凸模

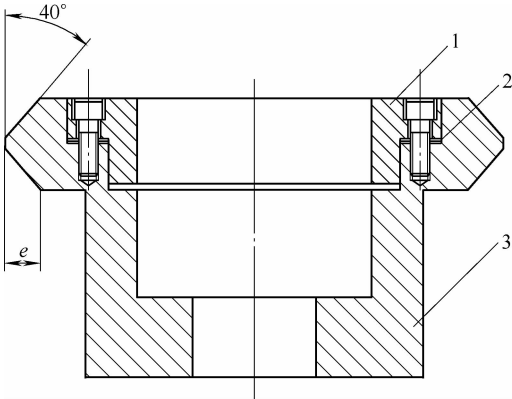


图 2-20 摇剪螺旋滑块
1—凹模 2—调整垫片 3—滑块

- 5) 螺旋套采用模具钢外加低碳钢热套的形式，可提高模具的耐磨性和韧性。
- 6) 凸模直径不能太小。当凸模直径小于 18mm 时，应加装限位柱来分担向下的垂直推力。
- 7) 滑块与螺旋槽的工作表面应有较低的表面粗糙度值，工作时保持良好的润滑。
- 8) 滑块运动时不得与模座有碰撞和干涉。

2.6 冲裁模具装配与上机安装

模具装配就是根据模具的结构特点和技术条件,以一定的装配顺序和方法,将符合图样技术要求的零件,经协调加工,组装成满足使用要求的模具。因此,模具装配是模具制造过程中的关键工序。模具装配的质量直接影响制件的冲压质量、模具的使用与维修和模具寿命。

着手装配前应认真研究模具图样,根据其结构特点和技术条件,制订合理的装配方案,并对提交的零件逐个进行检查,有方向性的零件在装配前应做好标记,检查无误方可按规定步骤进行装配。

按照制订方案装配的模具,应符合如下基本要求:

- 1) 装配好的模具,上模沿导柱上、下滑动应平稳、灵活,不允许有紧涩现象。
- 2) 所有凸模应垂直于固定板的装配基面。
- 3) 凸、凹模的间隙应符合图样规定的要求,分布均匀。凸模或凹模的工作行程符合技术条件的规定。
- 4) 定位和挡料装置的相对位置应符合图样要求。冲裁模导料板间距需与图样规定一致;导料面应与凹模进料方向的中心线平行;带侧压装置的导料板,其侧压板应滑动灵活,工作可靠。
- 5) 卸料和顶件装置的相对位置应符合设计要求,超高量在许用规定范围内,工作面不允许有倾斜或单边偏摆,以保证制件或废料能及时卸下和顺利顶出。
- 6) 落料孔或出料槽应畅通无阻,保证制件或废料能自由排出。
- 7) 标准件应能互换;紧固螺栓和定位销钉与其孔的配合应正常、良好。
- 8) 模具在压力机上的安装尺寸需符合选用设备的要求。起吊零件应安全可靠。

2.6.1 模具装配的一般程序

模具装配的关键是如何保证安装在上、下模座上的凸、凹模和与之有关的各种零件在合模时的相对位置符合设计要求,从而可以保证模具能够正常工作,冲制出符合产品要求的工件。

为此,需要提及的是,投入装配的各类零件,必须符合装配工序对各类零件提出的加工要求。例如,多凸模的固定板,其各型孔间的相对位置尺寸精度和步距精度必须与凹模和卸料板一致;垫板上的螺栓和销钉通过孔留有较大间隙,可以按图样尺寸划线钻制,淬火后上、下表面应严格磨平;安装在上模座或下模座上的整体凹模,除各型孔加工符合图样要求外,还应加工出螺栓孔和销钉孔,经热处理和精加工后投入装配。需与之连接固定的模座、导料板,其上的螺孔和销孔应在装配时按凹模上的相应孔配钻、配铰。基于此,模具类型和结构特点虽有不同,采用的装配方法和安装顺序也有差异,但应遵守的装配原则是相同的。

装配模具时首先需选择装配基准件,以它作模具的装配基准,然后按照基准件逐步

组装其他模具零件。基准件的选择取决于模具的结构特点。导板模应选兼做卸料板的导向板作装配基准件。用导柱导向的模具，通常多以凹模作装配基准件。落料冲孔复合模选用推料板作为装配基准件，以推料板的出力中心点对准模柄中心为先决条件。

基准件选定后，将模具各种零件按其间的单独连接关系先装配成组合件（如模柄在上模座上的安装；凸模在固定板上的固定），然后以基准件为装配基准进行模具总装。

2.6.2 单工序模装配

单工序冲裁模（见图 2-21）分无导向装置的冲裁模和有导向装置的冲裁模两种类型。对于无导向装置的冲裁模，在装配时，可以按图样要求将上、下模分别进行装配，其凸、凹模间隙是在冲裁模被安装在压力机上时进行调整的，但在装配前一定要将凸模插入凹模，检查间隙是否合适且周边均匀；单工序冲裁模一般以凹模作为基准，然后再以基准件装上模并调好间隙值。

而对于有导向装置的冲裁模，装配时首先要选择基准件。在以电火花线切割作为凹模型孔加工手段的前提下，有导向装置单工序冲裁模的装配步骤如下。

1. 装配模架

1) 模架的装配主要是指导柱、导套的装配。目前大多数模架的导柱、导套与模座之间采用过盈配合，如图 2-22 所示。

2) 另一种方法是，只将下模座与导柱作过盈配合。同时，将导套的安装面制成有利于粘接的形状，装配时，先将导柱安装并检验其垂直度，再用等高块将上模座胎平，然后向模座孔与导套之间注入粘结剂，即可完成模架的装配。

装配后的模架须做平行度与运动精度的检查，上模座的下平面对上模座下平面的不平行度有如下要求：Ⅰ级精度模架不应超过 0.05mm/300mm；Ⅱ级精度模架不应超过 0.08mm/300mm。其运动精度不应超过 0.02mm/100mm。

2. 安装模柄

模柄装配如图 2-23 所示，具体步骤如下：

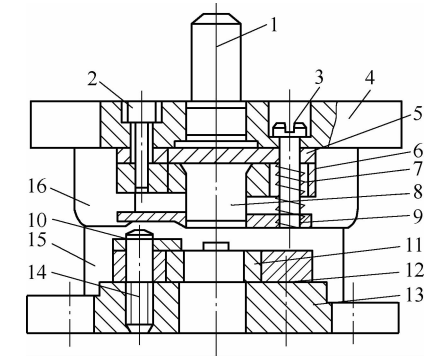


图 2-21 单工序模

- 1—模柄 2—内六角圆柱头螺钉 3—卸料螺钉
4—上模板 5—垫板 6—凸模固定板 7—弹簧
8—凸模 9—卸料板 10—定位板 11—凹模
12—凹模套 13—下模座 14—螺钉
15—导柱 16—导套

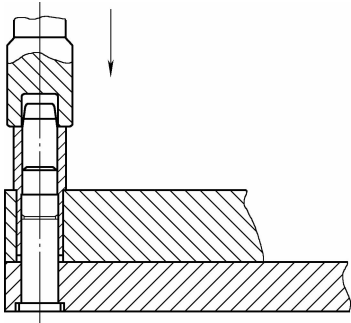


图 2-22 导套装配

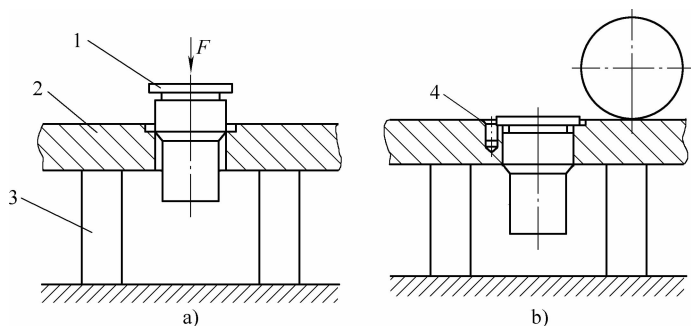


图 2-23 模柄装配

a) 模柄装配 b) 磨平端面

1—模柄 2—上模座 3—等高垫块 4—骑缝销

1) 检查模柄止口高度，应比上模座止口深度值少 $0.5 \sim 1\text{mm}$ ，模柄止口直径应比模座止口直径小 $0.5 \sim 1\text{mm}$ 。

2) 用角尺检查模柄与上模板的垂直度，并调整到合适，在手扳式液压机上，将模柄压入上模板中。

3) 加装模柄骑缝螺钉。

3. 装凸模（以电火花线切割直通式凸模为例）

1) 清除凸模固定板型孔内的电蚀泥。

2) 将凸模固定板后背，沿型腔周边倒角 $(0.5 \sim 1.5)\text{mm} \times 45^\circ$ ，倒角尺寸视模具受力大小决定。

3) 将凸模刃口端沿轮廓线周边倒角约 $0.25\text{mm} \times 45^\circ$ 。

4) 将凸模刃口端的线切割痕迹用细砂条或金刚锉刀进行轻微修磨，以利于凸模进入固定板，尾部应留一段距离不修，其长度略大于或等于固定板厚度。

5) 将高度大于凸模长度的等高块置于固定板下面，再将凸模压入固定板；这项工作应分作几步来进行；当凸模进入到固定板中能够立得住时，即应测量相互之间的垂直度，以后到进入 $\frac{1}{3}$ 和 $\frac{1}{2}$ 时再分别测量，发现有歪斜，要及时纠正，确认无误后再继续进行。

6) 凸模数量多或者尺寸较小时，应将卸料板与凹模对齐，利用卸料板对凸模进行导正。

7) 当凸模进入到固定板中尾端长度剩余 $3 \sim 5\text{mm}$ 时停止压入，用氧-乙炔焰对凸模尾端边线加热，并迅速地用小锤敲击，令红热部分肿胀。待完全冷却后，再将凸模全部压入到固定板中，如图 2-24 所示。

8) 用等高块胎平，以固定板下平面为基准将上平面与凸模尾端一起磨平。

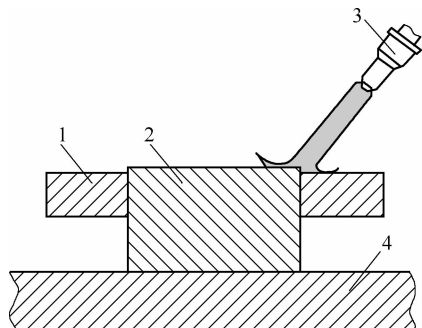


图 2-24 用氧-乙炔火焰对凸模尾端加热

1—凸模固定板 2—凸模 3—氧割枪 4—砧铁

以固定板上平面为基准,将卸料板套在凸模上(凸模细小时更有必要),令其工作面比凸模稍低,将凸模工作端面的倒角位磨平至刃口锋利。

4. 装凹模

1) 计算脱料板中心点,将其与模柄中心点对齐;以凹模的型腔为依据加工底座漏料孔轮廓线,通过凹模向底座投螺栓。

2) 检查凹模与底座漏料孔轮廓线是否对齐有无错动,确认无误后用螺栓连紧,通过凹模向底座投定位孔,钻、铰,打入定位销钉。

5. 装上模

将下模平置,在凹模上铺一张厚度与单边间隙相若的塑料薄膜,垫入等高块,抬高上模座,将凸模与凹模对正,用锤柄轻轻敲击,如果凸模能顺利进入到凹模内5~6mm,即可初步认为凸、凹模间隙合理,再将上模座、凸模垫板与凸模固定板叠合用C字夹夹紧,取出上模,从凸模固定板或凹模(倒装模)向上模座投孔,用螺栓将两部件作初步连接。

如果导柱直接灌通凹模和卸料板,而导套安装在凸模固定板上,线切割时以导柱孔为基准加工凹模、凸模固定板型腔和定位销孔,则在组装时只需保证凸模与固定板的垂直度,上模座的求正与调整步骤都可以省去。

需要指出的是,在制造冲裁形状复杂、精度要求高或材料厚度小于0.25mm的多个孔位的模具时,往往在凸、凹模加工后就需要逐对检查凸、凹模的配合情况。

6. 检查凸、凹模间隙

换用一张塑料薄膜,将上模座与下模座通过导柱连接,如果此时凸模能自动滑入凹模,可认定为凸、凹模间隙合理,可进入到下一步工作。或将模具卧置放平,用木锤敲击,如果推进过程中用力没有变化,退出后的塑料薄膜无切破,也可认定为凸、凹模间隙合理。

如果间隙不合理,则应将上模插入凹模,以凸模平面与凹模工作面刚好进入即可,用透光法检查凸、凹模间隙;即将装配后的模具翻过来,把模柄夹在台虎钳上,用手灯照射,从下模座的漏料孔中观察间隙大小及均匀性,并调整使之均匀,在发现某一方向不均匀时,可用锤子轻轻敲击固定板的侧面,使上模的凸模位置改变,以得到均匀间隙为准。

7. 装入销钉

间隙均匀后,将螺钉紧固,配钻、铰上模定位销钉孔并装入销钉。

8. 装卸料板

将卸料板套在凸模上,检查两者之间的滑动间隙,运动是否灵活,然后加装弹性元件,将卸料板吊装在上模上,调整吊装螺栓,令卸料板平面高出凸模工作面0.5~1mm;最后还要检查吊装螺栓的运动行程,务使其顶端在冲裁终了时与模座上平面留有3~5mm距离。

9. 安装导料装置与挡料销

检查没有问题后,正确安装导料装置与挡料销。

10. 试切与调整

用与冲裁件同样厚度的纸张或废纸箱壳作材料,将其置于凹模平面上,用软金属棒或

手锤木柄端轻轻敲击模柄进行试切。检查试纸飞边大小与均匀性，若飞边不明显或有飞边但周边均匀，高度一致，表明装配正确。纸张宜选用纤维粗糙的毛边纸，打印纸次之，不用铜版纸。

11. 打刻编号

根据厂家要求打刻编号。

12. 试冲

上机试冲后，如所得结果无异常情况发生，即可向导柱导套加注润滑油，准备生产或入库。

2.6.3 复合模装配

复合模结构紧凑，模具零件加工精度较高，多用于冲制较薄材料，模具间隙相对较小。由于内、外形同时冲切，模具装配的难度较大，特别是装配对内、外形有同轴度要求的模具，更是如此。

装配复合模的难点是如何保证同时冲切内、外形的凸凹模的相对位置符合设计要求，使模具的单边间隙分布尽可能趋于均匀一致。

为降低复合模的装配难度，除采用的装配程序和装配方法符合模具的结构特点外，设计上亦应符合装配工作对模具结构的要求，例如首选凸凹模采用窝座式定位。

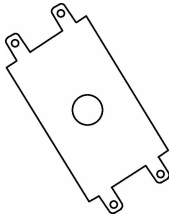
复合模属于单工位模具。因此，复合模的装配程序相当于在同一个工位上先装配冲孔模，然后以冲孔模为基准，再将它装配成落料模。

基此原理，设计和装配复合模时，下列几点原则必须遵循：

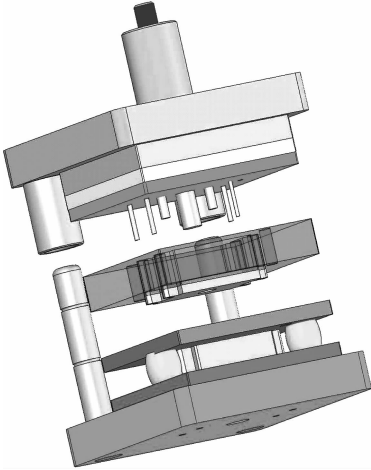
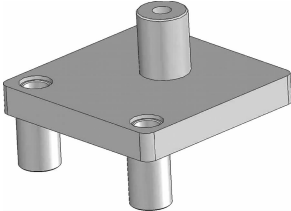
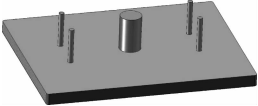
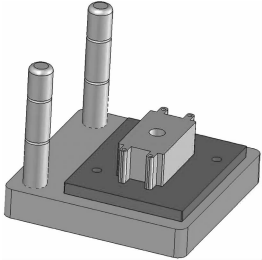
- 1) 复合模装配应以凸凹模作装配基准件。先量取或估算冲裁力的中心点，找出其在凹模上的相应点，并以此点为依据，将凸凹模的压力中心与模柄的中心点对正。
- 2) 将凸凹模与固定板或底座用螺栓和销钉安装、固定；再按凸凹模的内形装配，调整冲孔凸模固定板的相对位置，使冲孔凸、凹模间的间隙趋于均匀，用螺栓固定，并进行第一次试冲；确认后将冲孔凸模固定板与上模座钻、铰孔，用定位销连接。
- 3) 以凸凹模的外形为基准，装配、调整落料凹模相对凸凹模的位置，调整间隙，确认后由凹模向固定板投孔，用螺栓固定。
- 4) 再次试冲无误后，仍由凹模向上模座投孔配钻、铰销孔后，打入定位销。

复合模装配图例见表 2-5。

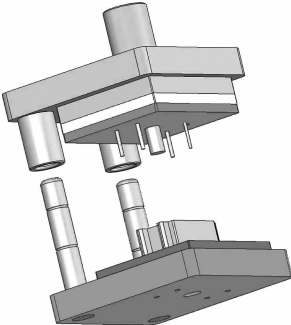
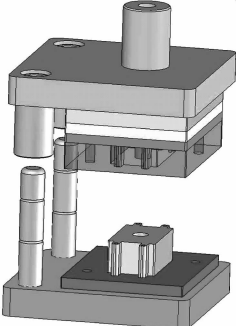
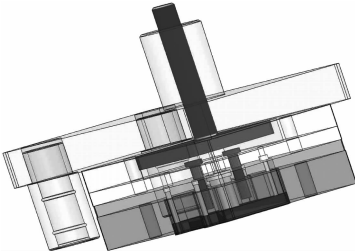
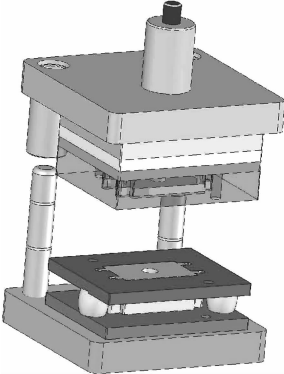
表 2-5 复合模装配图例

工作顺序	图 例	说 明
1		工件实样

(续)

工作顺序	图 例	说 明
2		复合模全图
3		装导柱、导套
4		将凸模装入固定板,操作方法和 技术要求与单工序模相同
5		测算工作重心位置,令与模柄中 心点重合,装凸凹模

(续)

工作顺序	图 例	说 明
6		以凸凹模为基准,调整好凸模与冲孔位置的周边间隙,装凸模。试冲无误后,装第一对定位销
7		以凸凹模外轮廓为基准,装凹模,试冲无误后,反向投孔,装第二对定位销
8		装退料件,包括退料板、传力销、传力板和退料杆
9		装卸料板和条料导尺、挡料销

2.6.4 冲裁模上机安装

1. 有导向装置单工序冲裁模上机安装

有导向装置冲裁模应处于合模状态下进行安装，具体步骤如下：

- 1) 量取模具闭合高度，将压力机滑枕下死点调整到比闭合高度高出 $2 \sim 5\text{mm}$ 的位置上。
- 2) 取下模柄压块，将模具推入模柄夹持位，预紧模柄压块。
- 3) 转动球头螺纹，调整压力机滑枕向下，直至凸模深入凹模 $1 \sim 2\text{mm}$ ，利用卸料板弹性元件的弹力将上模上平面与压力机滑枕下平面贴紧。
- 4) 紧固模柄压块。
- 5) 压紧下模。
- 6) 反方向转动球头螺纹，调整压力机滑枕向上，直至凸模脱离凹模 $2 \sim 5\text{mm}$ 。
- 7) 试冲过程中，渐次下降上模高度，直至工件与材料完全分离。检查试冲样件，确认无误后投入生产。

2. 无导向装置冲裁模上机安装

无导向装置冲裁模上机安装时，视模具间隙不同，可采用不同的方法：在生产中，凸、凹模间隙大于等于 0.20mm 时，可直接用目视的方法或插入薄片对模；凸、凹模间隙小于 0.20mm 时，多采用塑料薄膜装模法，操作方式与有导向装置模具装配基本相同。一般来说，塑料薄膜装模法比目视法简单、迅速、可靠，但凡塑料薄膜没有被切断或拉破，即表示凸、凹模之间存在着间隙，不会发生啃模现象。

3. 级进模安装

级进模工作时，条料是由右向左逐步送进的；初始的几个冲次，模具左边没有材料，将导致模具两边失去平衡，甚至于压坏凸模。因此，级进模在试模或开工之始，应采用手动方式，在模具左边垫入事先剔除工作位的、与工件相同厚度的材料，逐步后退，直到条料完成全部冲次，才可以进入到自动状态。

2.7 冲裁模典型结构

2.7.1 落料、切边模典型结构

1. 后道工序为车边的切边模

在不锈钢餐厨器具制作中，有不少产品是采用氩弧焊对接而成的。而这些对接件又是经过拉深→切边→车加工得到的。时下有较多的不锈钢制品企业为了节约成本，采用无导柱导套模具来冲剪旋转体的拉深凸缘，如图 2-25 所示。

在设计这类模具时，剪切线不能太逼近工件外径，而是加大一些。这是因为，在逼近工件外径的位置，材料厚度几乎等于凹模 R 值。将此处作为剪切线，将直接导致冲裁力增大。而由于加工过程中的诸多因素，拉深件存在着失圆的现象，造成周边剪切力

不平衡。这种不平衡力会在剪切的一瞬间，将凸模压向一边，极易造成模具损坏（俗称啃模）。

在旋转体拉深件凸缘剪边模中，通常按下式计算凹模直径：

$$D = d_{\text{凹}} + 2 \times 0.6R$$

式中 D ——切边凹模直径（mm）；

$d_{\text{凹}}$ ——拉深模直径（mm）；

R ——凹模圆角半径（mm）。

也可将剪切线与凹模圆角的关系换算成角度，则角的值应小于 50° 。

在设计与安装此类模具时，要注意：安装模具前，要认真检查压力机的运动精度，滑枕与导轨的运动间隙不能大于凸凹模单边间隙的 $1/2$ ，且要求上下一致。

2. 卷边前道工序的切边模

为了保证卷边作业顺利，需要在卷边前对工件作预处理，即将接近工件边缘3倍料厚的距离做成等于或略小于卷边半径的预弯。在设计此类工件的切边模时，是可以合并考虑，为卷边工序提供这一有利条件的，如图2-26所示。

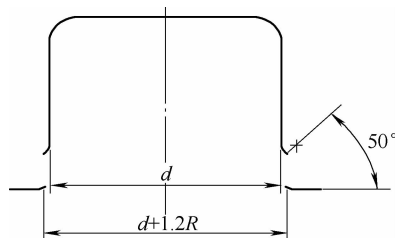


图 2-25 旋转体的拉深件剪边

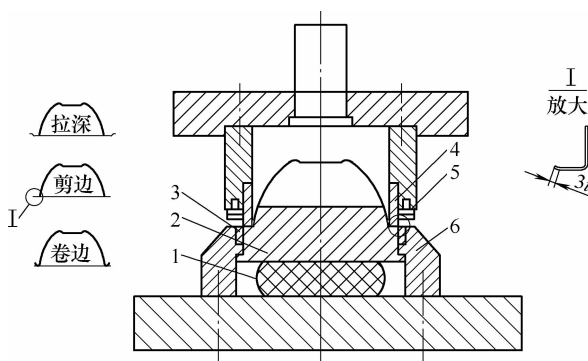


图 2-26 后续卷边工序的切边模

1—橡胶 2—退料板 3—凹模 4—凸模 5—废料切刀 6—凹模保护套

所以，此类模具的凸模不是 90° 刃角，而是根据上述要求作 $10^\circ \sim 15^\circ$ 的斜角处理。在退料机构的共同作用下，这类模具能很好地完成剪边作业。

这类模具的工作原理还可扩展应用于铰链卷圆模的落料工序。

3. 球形曲面剪边模

球形曲面（碗形件）剪切模，其剪切线的球心角一般都超过 80° ，在这种情况下，如果工件稍有偏心，或上下模运动间隙超过模具凸、凹模间隙，极易造成凸模偏边，啃坏凹模。

因此，碗形件（球面）剪切模应优选有导柱导套方式；导柱截面积较平常加大 30%。优选导柱直接与凸模固定板导向的模具结构，如图 2-27 所示。

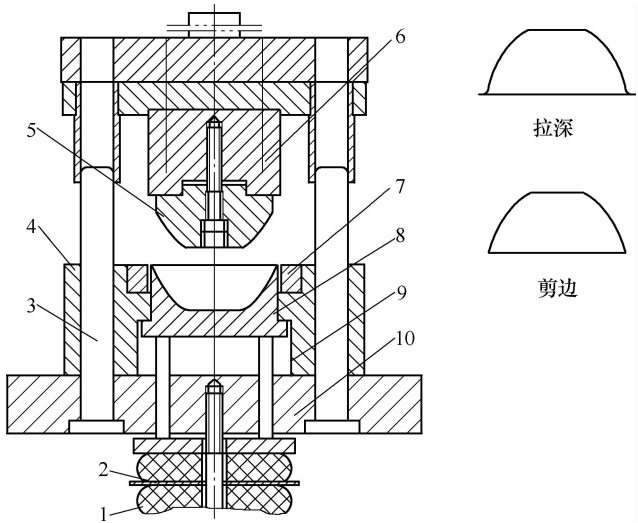


图 2-27 碗形件剪切模

1—弹性元件（高弹橡胶） 2—隔板 3—导柱 4—导套凹模座 5—仿形压料块
6—凸模 7—凹模 8—退料块 9—传力销 10—下模座

在确认压力机运动精度、刚度和功率有裕度的前提下，也可选择无导柱导套方式；如果选择无导柱导套冲裁，则要求压力机的滑枕与导轨间隙应调整控制在 0.005 ~ 0.02mm，并须经同等出力情况下多次试冲，予以确认。

这一款式模具的设计特点如下：

- 1) 两导柱之间的连线通过工件中心点。
- 2) 导套优选与凸模固定板直接导向。
- 3) 退料块兼有定位作用，要有足够的预紧力，宜用强力弹簧或碟形弹簧作为预紧装置；或采用吊装式橡胶叠层可调装置。
- 4) 定位件仿形制作，与凸模分立，以方便凸模刃口修复。
- 5) 上、下模安装牢固可靠。

4. 圆锥体、截顶圆锥体展开料落料模

锥形件和深锥形件在拉深时，由于悬空面积大，工件腹部容易起皱，所以在设计这类产品时，尤其是尺寸较大的情况下，通常采用展开料焊接的方法替代。在生产中应注意以下两点：

- 1) 锥形件的展开料为扇形。
- 2) 氩弧焊有起弧和收弧段焊接不良的特点。

综合上述两条，可以在片料的两边线上各加一小段材料，一般长度取 6 ~ 8mm，宽度取 4 ~ 5mm，待锥筒焊接好后切除。

扇形料面积较大时,可以将凸模沿边线留 $(20 \sim 30)t$ 宽度,(绝对值 $\geq 8\text{mm}$)在热处理前将中间部分挖低,方便日后模具磨损后的修整。如图2-28所示。

扇形料边线过长,导致剪切力太大时,可将凸模仍保持平面,而将凹模平面磨成斜面;其高度差控制在 $(0.5 \sim 2)t$,视边线长度和压力机出力所留裕量大小决定,沿中线两侧对称。

5. 大直径圆形坯片开料模

大型面盆、浴缸之类工件的圆形坯片开料模,其剪切线长有时达到数千毫米。在使用平刃口模具时,冲裁终了的一瞬间,压力突然解除,俗称“撑腰”,此时产生的振动对压力机危害极大。此时可作以下处置:

1) 过中心点将刃口圆周分成6~8等份,如图2-29所示。

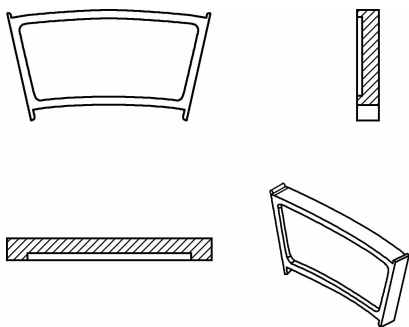


图 2-28 截顶圆锥体展开料落料凸模

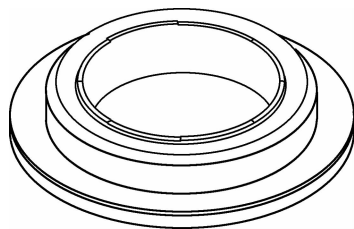


图 2-29 凹模刃口分瓣磨低

2) 每间隔一等份磨低 $0.5t \sim 1.5t$ 。

磨削工具首选平面磨床,如果条件不具备,也可以采用手提砂轮机,对于拉深用坯片之类的落料件来说,对后续工序并无不良影响。

2.7.2 冲孔模典型结构

1. 小孔冲模

这里定义的小直径孔,是指直径等于或小于料厚2倍的冲制孔。

在普通冲裁中,各种材料在冲孔时,最小孔径对于材料厚度都有一最小极限值。当冲孔直径小于最小极限值时,通常都采用钻、铰方法加工,但这些方法加工零件与冲压方法相比较效率是很低的。近年来,这些微小型孔的加工方法正逐渐被冲压加工方法所代替,只是要设法使凸模牢固稳定,提高凸模强度,防止凸模断裂及改变坯料在冲孔时的受力状态等。

现在这种技术发展很快,冲孔直径与材料厚度的比值 d/t 可达到如下数值:硬钢为0.4,软钢与黄铜为0.35,铝为0.3。

在板材上冲小孔时,当材料厚度大于凸模直径时,其冲孔的过程并不是剪切过程,而是通过凸模将材料挤入到凹模内的过程。在挤压开始时,冲出的废料其中一部分被压缩而挤向孔的周围区域中,故冲下的废料的厚度一般小于原材料的厚度。

在进行小孔冲裁时，由于冲孔凸模直径很小，若利用普通方法冲裁，细小的凸模容易折断，因此必须设法提高凸模强度防止其折断定弯曲。其方法和要注意的地方有：

- 1) 脱料板兼作导向板。
- 2) 导向板与固工板间采用小导柱导套，或直接与大导柱导套相连接，如图 2-30 所示。

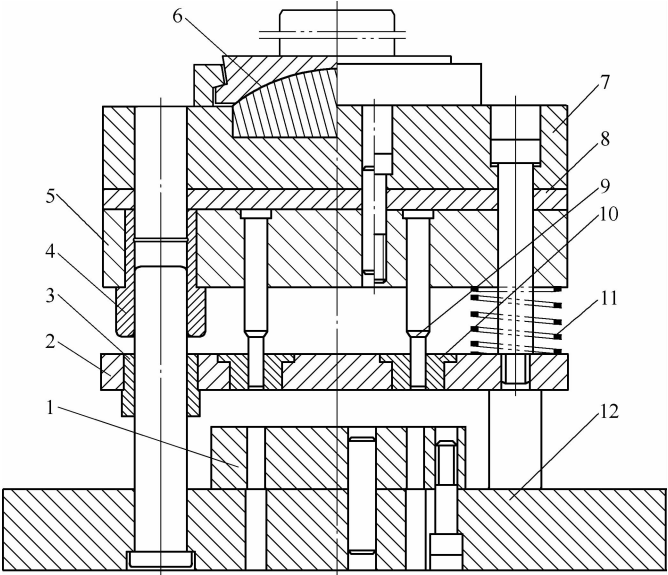


图 2-30 小孔冲模

1—凹模 2—脱料板 3—脱料板导套 4—主导套 5—凸模固定板 6—活动模柄
7—上模座 8—垫板 9—凸模 10—凸模导套 11—弹簧 12—下模座

- 3) 凸模缩入导向板，导向板与凸模固定板间的距离也不宜过大。
- 4) 凸模与导向板双边间隙小于凸凹模单边间隙。
- 5) 压料力与单纯脱料相比要增大 1.5~2 倍。
- 6) 导向板采用或镶嵌高硬度材料，与通常情况相比取厚 20%~30%。
- 7) 两导柱之间的连线通过工件压力中心。
- 8) 多孔冲裁时，直径较小的凸模较直径较大的凸模低一个料厚。

2. 壶壁冲孔模

壶壁冲孔（见图 2-31）模是安装在悬臂式工作台上的正装下出料模，是比较特殊的一种冲裁形式。设计此类模具时，应注意以下几点：

- 1) 模具下座加上凹模的最大径向尺寸，不能大于



图 2-31 壶壁冲孔

壶口的尺寸，而是应留出 3~5mm 的活动间隙。

2) 凹模不要太厚。尽可能保证模座的强度。

3) 压料板的仿形弧线 R 要比壶体半径大 2mm 左右为宜，弧形线两侧应有一小段直线 B 以保证凸模强度，新开模具 $B=4t$ 。

4) 因为凹模的刃口是开在仿形曲面上，不能用平面磨的方法来修复，只能用手提砂轮机进行有限次数的修复工作。表面上的刃口不方便用斜角方式来减低废料排除力，故凹模退空位宜采用化学腐蚀的方法来加工，刃口直壁高度取 3~4.5mm，太高则退料阻力大，增加爆模的危险；退空蚀除量单边 0.1~0.15mm，如图 2-32 所示。

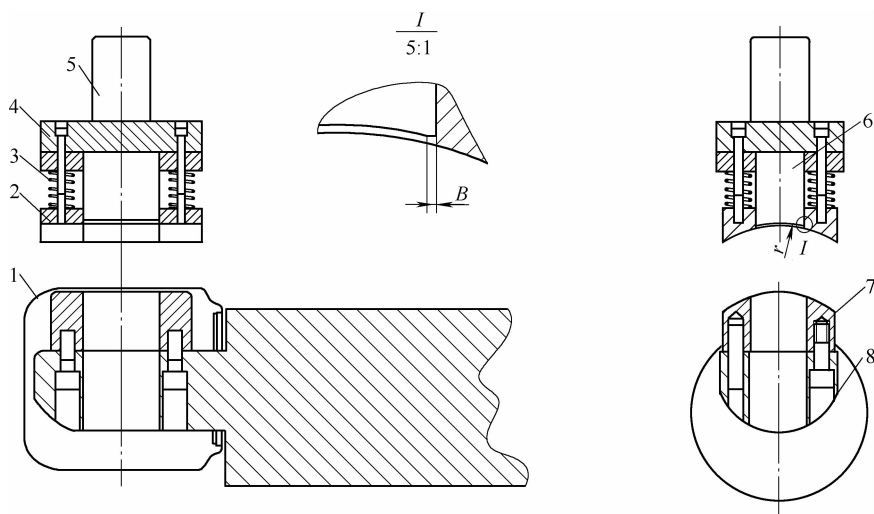


图 2-32 壶壁冲孔模

1—工件 2—脱料板 3—压料弹簧 4—上模座 5—模柄 6—凸模
7—凹模 8—悬臂式工作台

3. 茶叶滤孔冲模

茶叶滤孔（见图 2-33）冲制后要求披锋向外。

加工该件的冲模通常安装在具有悬臂工作台的压力机上，属于倒装模。

冲孔模工作时，除中心孔以外的其他孔的材料面均不与凸模中心线垂直，因而会产生较大的水平分力，将凸模推向外侧，令模具间隙发生不良变化；朝向中心孔一侧披锋加高。这一弊端，早在产品设计阶段就应给予充分考虑，小孔应尽量沿轴向排列在较窄的范围内。在模具设计时再采取针对性措施，才能保证模具具有较长的寿命，具体的方法如下：

1) 滤孔冲孔模的冲针直径应大于 3mm，孔位排列



图 2-33 茶叶滤孔

后的最大中心距，与工件的弧心角应小于 35° 。超出此范围，可另作滤片贴焊，效果更好。

2) 脱料板应兼有凸模导向功能，其配合间隙应不大于凸、凹模间隙的一半，并采用中碳钢正火或冷作模具钢材料制作。

3) 凹模刃口直壁段不能太高，以不大于 $6t$ 为宜。刃口直壁段太高，则废料顶出的力量太大，极有可能超出凸模的抗弯强度，造成凸模跑偏，损坏凹模。

4) 弹性元件尽可能采用强力弹簧，其次为聚氨酯橡胶，不用黑橡胶，避免橡胶屑阻滞脱料板运动。用橡胶作弹性元件时，应用氯酞胶黏剂与凸模固定板连接固定。试冲时橡胶外径涂红，观察在压缩状态下有无挤压冲针。

5) 模具安装前应检查压力机滑块运动间隙与垂直度，两项偏差均应控制在 $0.02\text{mm}/300\text{mm}$ 范围之内。

6) 压料板圆弧半径大于工件半径，即 $R > r$ ，以免破坏工件外观，如图 2-34 所示。

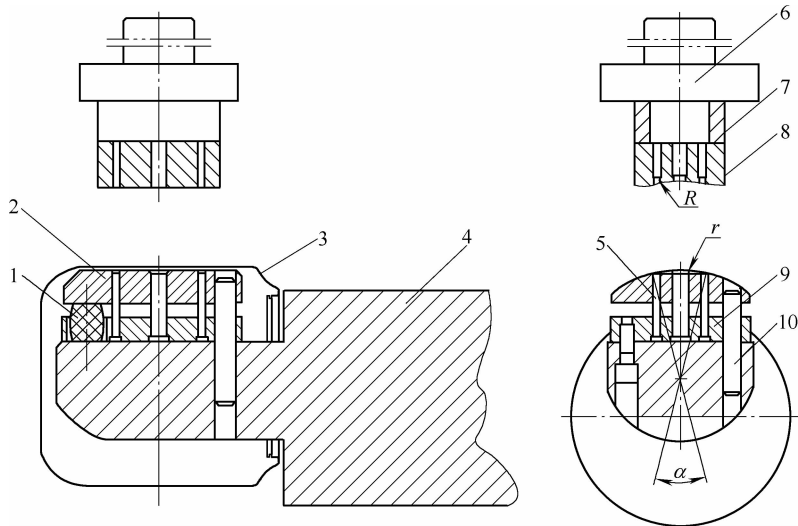


图 2-34 茶叶滤孔冲模

1—橡胶 2—脱料板 3—工件 4—悬臂工作台 5—凸模
6—模柄兼上模座 7—凹模垫板 8—凹模 9—凸模固定板 10—导销

4. 短圆柱定长连续切断模

该模具主要用于直径在 $2 \sim 10\text{mm}$ 、长度在 $15 \sim 35\text{mm}$ 的短圆柱的线材切断，如图 2-35 所示。

该模具主要由圆形孔凹模 5、椭圆形孔凸模 4 和挡料板 2 组成。凸模 4 的行程较短并且不可调节，其上、下死点均应包容凹模孔并留有裕量。因此，它不是装在压力机滑块上而是以燕尾槽滑块的形式依附在凹模本体上。

挡料板的高度方向是可调节的，其下沿不高于线材中心线。凸模刃口加后壁长度不能超过制件长度的 $2/5$ ，如果不能满足上述要求，则须在热处理之前将刃口厚度以外的部分加工成斜坡，以方便出料；这是本模的关键所在。

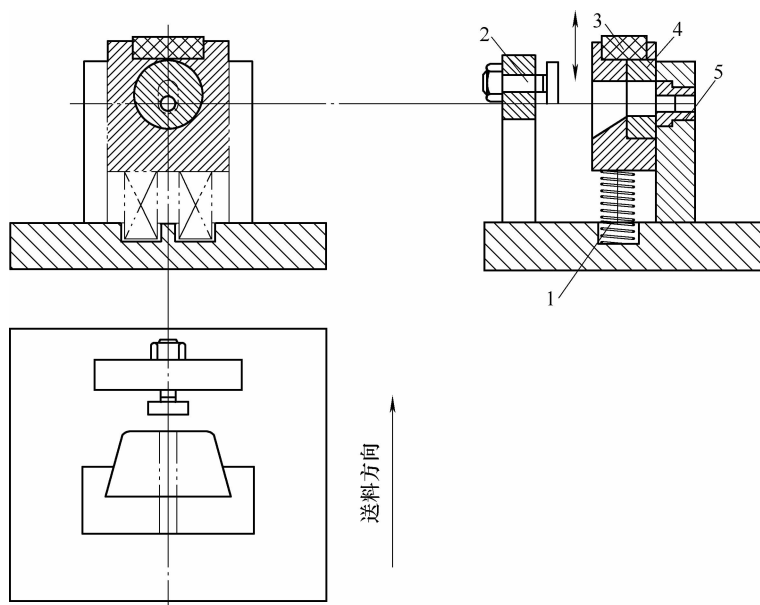


图 2-35 短圆柱线材连续切断模

1—弹簧 2—挡料板 3—橡胶 4—凸模 5—凹模

取消了模柄，在凸模上方挖一凹坑，填入橡胶，可减少与压力机滑枕撞击发出的噪声。

该模具的优点在于，送料时只要给线材尾端持续加力就可以连续工作。

这里的上模行程受到限制是为了凸模运动不超过2倍的材料直径，在有些场合则是由于凸模的运动空间有限，这种方式通称为无模柄冲模。

2.7.3 其他冲裁模

1. 少废料冲模

采用合适的排样方法，可以获得少废料或无废料的效果。图2-36所示为连接片筒式级进模，板料按冲件长度分条，只有冲孔部分属于废料，冲件材料利用率高。

少废料冲模的最后落料是剪切完成的，凸模单边受力，所以凸模固定板的厚度较常规情况下要取得大一些。

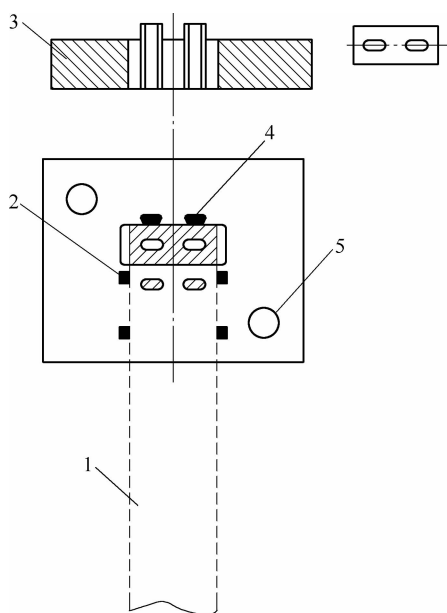


图 2-36 少废料冲模凹模（筒式级进模）

1—条料 2—导料销 3—凹模 4—前挡料销 5—导柱孔

凸模还依靠脱料板对其产生护持作用，所以这两者之间的间隙应小于凸、凹模间隙。脱料板采用可淬火材料，热处理至硬度为 40HRC 左右。

导柱无论是安置在上模还是下模，均由脱料板和凸模固定板直接导向。两导柱之间连线的中点与压力中心重合。

挡料销决定工件的宽度，上端面高出凹模平面，故采用线切割榫卯的方法固定。挡料销高出凹模的部分倒有小圆角。对凸模有导向与管制的作用，抵御剪切产生的水平分力，保证凸凹模正常间隙。

冲孔凸模应比切断模刃口低 1 ~ 2 个料厚，待切断完成后开始冲孔工作。

2. 圆形顶盖冲孔

铁制帐篷圆顶冲孔模如图 2-37 所示。

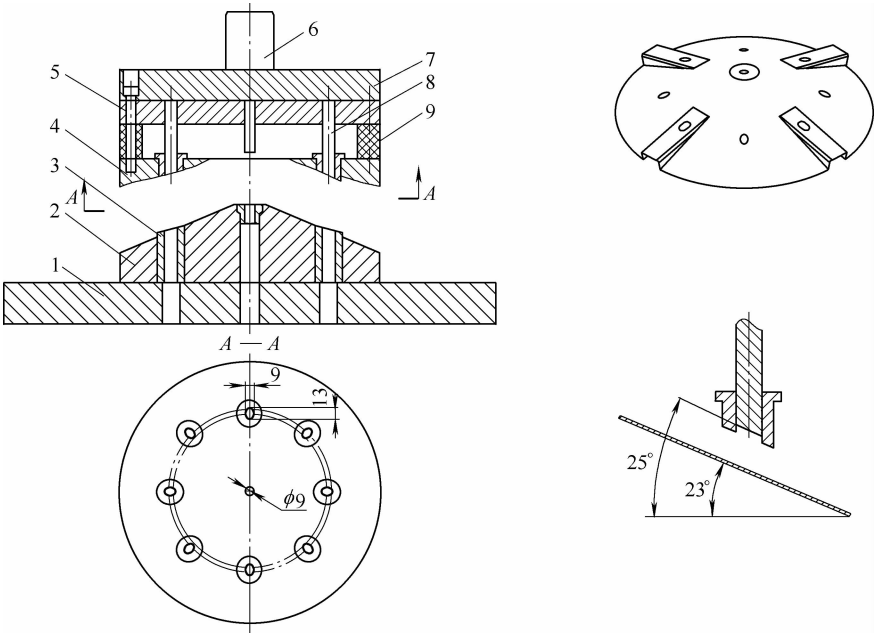


图 2-37 铁制帐篷圆顶冲孔模

1—模座 2—凹模 3—凹模镶套 4—压料板 5—凸模固定板 6—模柄
7—上模座 8—凸模 9—弹性元件

在斜面的圆周上冲孔，在模具设计中须作如下处理：

- 1) 凸模固定板厚度要保证达到凸模全长的 40%。
- 2) 卸料板与凸模的间隙小于冲裁间隙。
- 3) 凸模刃口斜度大于工件斜度 $2^{\circ} \sim 3^{\circ}$ 。

3. 方管切榫模

在金属家具业中，用矩形管材来围成各种规格的方框是常见的，切榫模保留了看面

的直壁，减少了焊接和打磨工作量，美化了产品外观，如图 2-38 所示。

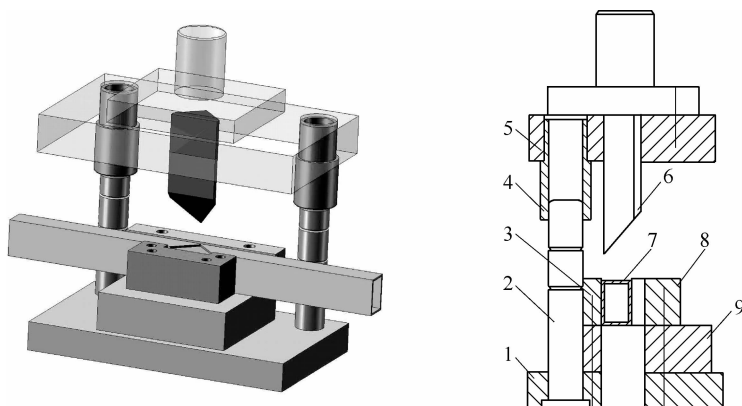


图 2-38 方管切棒模

- 1—下模座 2—导柱 3—挡料板 4—导套 5—固定板
6—凸模 7—工件 8—后侧刃 9—凹模

方管切棒模是遵从尖点突破的原则来设计的。主要由带导柱导套的模座、凸模、挡料块和凹模组成。凹模分为上下两层，上层有侧刃，负责管材侧壁材料分离；下层负责管材底平面材料的分离。

凸模的斜刃角度可视材料的抗剪强度来决定。当材料为铝方管时，为了照顾到尖点的突入能力，斜刃角取 $40^{\circ} \sim 45^{\circ}$ 。当材料为不锈钢或 Q235 材质的方管时，改为以照顾强度为主，斜刃角度取 $45^{\circ} \sim 50^{\circ}$ 。

管材的前直壁一般无须切断，以达到成品美观的目的。管材的上平面，实际上是在凸模的尖点突入工件后由后面的一部分斜面来剪切的。后直壁由凸模斜面和一级凹模后侧刃形成斜刃剪切。管材的底平面则由凸模与二级凹模的平面刃口完成分离。

设计本款模具时，要注意后侧刃的凹槽深度要留大一些，作为废料的容纳空间。

选用压力机时，滑枕行程要求大于管材高度的 2.5 倍。

4. 圆管长距离有凹模冲孔

在管材上距离管端较远的位置冲孔时，凹模悬臂距离太长，当凸模接触工件时，冲裁力使凹模向下弯曲，破坏了凸、凹模间隙，使冲裁无法进行。同时，又由于凹模在向下弯曲与弹性恢复的过程中承受反复的弯曲应力，时间稍长，凹模即会因疲劳而发生断裂。图 2-39 所示为采用了燕尾槽和角形槽铁的管材冲矩形孔模，它成功地解除了上述问题的困扰。

管材 4 与伸入管材内的凹模留有滑动间隙，凹模安装在垂直的燕尾槽内的滑块中。装料时，滑块受到弹簧 10 向上的推力，使凹模与角形槽铁产生必要的间隙 B ，以方便管材入料。

上模下行时，催动橡胶先行将滑块压下，橡胶弹性体 12 与工件接触，将工件压在

角形槽 3 上。上模继续下行，此时，来自凸模的剪切力已经由角形槽、支承板传递给底座，不再对凹模产生弯曲力矩。上模回程时，冲压力解除，滑块在弹簧 10 的作用下上行，间隙 B 恢复，工件抽出。

采用这种方式冲孔时：

- 1) 调整螺钉 14，将滑块 6 与燕尾槽 13 的滑动间隙控制在 $0.015 \sim 0.03\text{mm}$ 。
- 2) 凸凹模间隙适当放大，可按常规经济级间隙值加上 2 倍的滑块间隙计算。
- 3) 凸模纵向可加工成 $5^\circ \sim 8^\circ$ 的斜角，可减少冲裁力。
- 4) 矩形管冲孔凹模漏料孔采用小距离直壁加斜壁方式，既保证强度，又要有利于废料排除，存料不要超过 3 层以上。

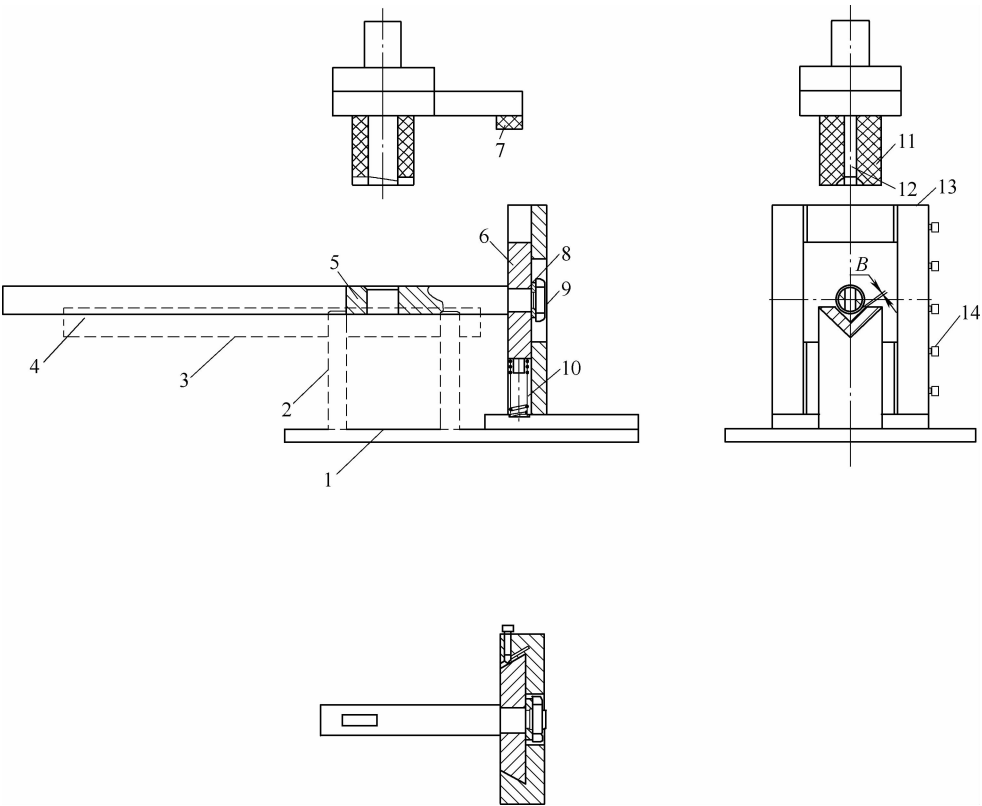


图 2-39 圆管有凹模冲孔

- 1—下模座 2—支承板 3—角形槽铁 4—管材 5—凹模 6—滑块 7—催动橡胶 8—垫圈
9—螺母 10—弹簧 11—凸模 12—橡胶弹性体 13—燕尾槽 14—燕尾槽间隙调整螺钉

5. 货架立柱方管有凹模冲孔

图 2-40 所示为某款货架立柱方管冲孔模。

方管断面边长为 $25\text{mm} \times 25\text{mm}$ ，壁厚为 1.8mm ，长度为 1200mm ，共冲孔 33 个，每

次冲3孔。考虑到凹模内所积存的废料厚度有限,同时也为了照顾到模具整体强度,该工件分两次装夹。因此,模具的整体长度应能满足首次装夹6个冲次的需要。

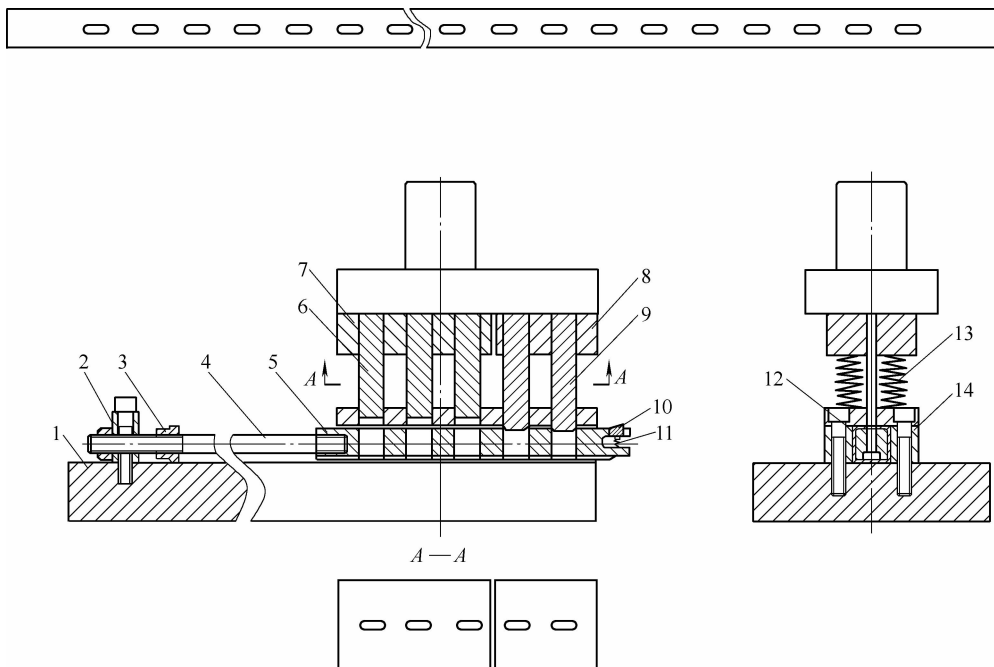


图 2-40 方管有芯冲孔模(独立导向)

1—底座 2—芯杆固定座 3—长度定位圈 4—芯杆 5—凹模 6—凸模 7—凸模固定板
8—导向模固定板 9—导向模 10—定位销 11—弹簧 12—管材 13—复位弹簧 14—固定脱料板

该款模具的特点是导向部分与冲裁模分立。复位弹簧 13 只对导向部分起复位作用,包括弹簧在内的导向部分是搁置在固定脱料板 14 上的,无螺栓固定,工作时并不随上模上升。除了首次冲孔无导向而外,其余冲次都是在自身导向的条件下完成的,防止了啃模现象发生,延长了模具寿命。

首次冲孔时,将导向部分从固定脱料板 14 上取下,待第一组孔冲出后再复位,依次可进行后面几个冲次的操作。每完成一个冲次,将管材 12 向外拉出一定距离,然后再向前推,使已冲孔的边缘与弹簧定位销 10 靠紧。

入料时,将管材 12 略为抬起,向下压迫定位销 10。当定位销的顶端与凹模 5 平齐时,管料即可顺利推进至长度定位圈 3。为了方便废料退出,凹模孔壁部宜采用较平常大一些的斜度。凸凹模间隙也应适当取大一些,放宽至 $2C = (0.12 \sim 0.15)t$ 。

设计管内凹模时,应注意凹模与管材的间隙应小于凸凹模单边间隙;当管壁厚度 $\geq 1.5\text{mm}$ 时,凸凹模单边间隙已足够大,完全能够满足管材在模具内移动的需要。

2.7.4 无凹模冲裁

作为一种特殊形式,无凹模冲裁在线材制品中应用最为广泛。

无凹模冲裁实际上是利用上模快速运动的能量和上模刃口，由焊接在线材下的横档作为反作用力的支点对工件进行剪切的。

为了适应工件的特殊性，上模下平面刃口有 3° 的后角。刃口靠前，与滑枕直面平齐或有超出。此种工艺作业时，多数情况下并无良好的工件夹持或压料，因此操作者须注意安全。工件在握持方向上的长度应大于200mm，否则就应考虑运用辅助工具来握持工件，以保证操作安全。无凹模冲裁如图2-41所示。

2.7.5 剪切模典型结构

1. 环剪机构

环剪机构用于与多工位圆盘机配套，可用作大直径的旋转体拉深件的剪边工序，取代冲裁剪边模，如图2-42所示。该机构通用性强，投资少，工作省力，具有较高的经济效益。

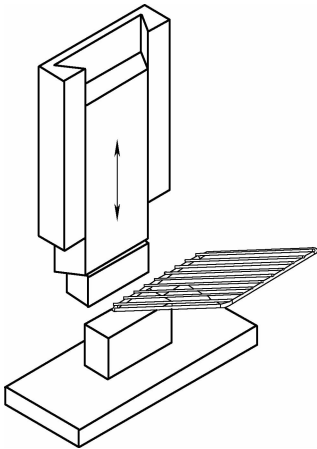


图 2-41 无凹模冲裁

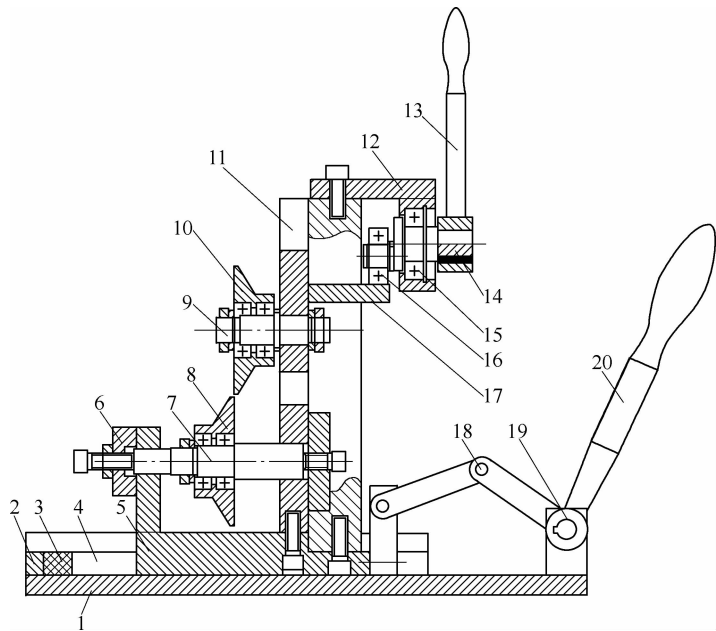


图 2-42 环剪机构

- 1—底座 2—挡头 3—橡胶块 4—燕尾槽 5—滑动座 6—螺纹座 7—下滚轮轴
8—下滚轮 9—上滚轮轴 10—上滚轮 11—垂直燕尾 12—盖板 13—手柄
14—键 15—滚珠轴承 16—偏心轴 17—联动板 18—肘节 19—转轴 20—手柄

上、下滚剪轮10、8分别固定在其轴9和7上，下轴可以通过螺钉4来调整刃口间隙。垂直燕尾槽11可保证上滚剪轮10的运动精度。动作机构全部装在燕尾槽4的滑动

座5上,在肘节18的作用下,滑动座可沿水平方向前后运动。

工作时,施加在操作手柄13上的力通过偏心轴16和滚珠轴承15向下推动上滚剪轮对工件进行剪切。

不工作时,扳动手柄20向下,环剪轮整体向后退,不影响工件的下一步操作。

在燕尾槽4的另一端装有固定挡头2和橡胶块3,肘节机构在动作时滑动座整体被“挣紧”,以保证剪切线的准确性。

2. 旋转体拉深件摇剪

图2-43所示为双层碗外壳摇剪模。压料芯6可取出,工作时工件11套在压料芯6上,放入凹模5内。当压力机滑枕下行时,凸模10先压下压料芯6,此时工件11在弹簧16的作用下已被完全固定在凹模5中。压力机滑枕继续下降,来自凸模10的压力迫

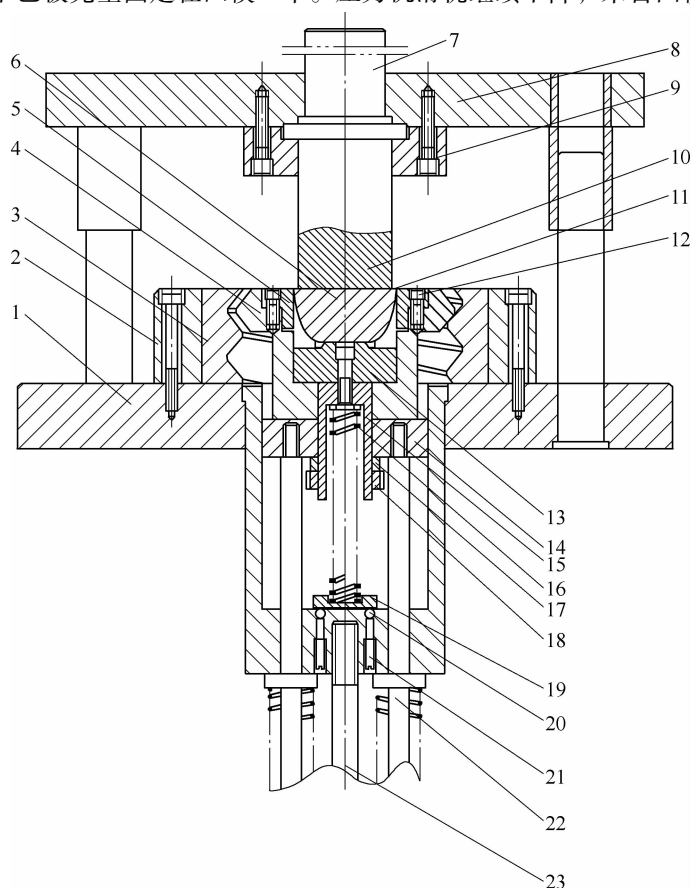


图 2-43 碗形件摇剪

- 1—下模座 2—低碳钢套 3—螺旋槽 4—滑块 5—凹模 6—压料芯 7—模柄
8—上模座 9—凸模压盖 10—凸模 11—制件 12—凹模连接螺栓 13—顶料板
14—顶圈 15—弹簧座套 16—弹簧 17—垫圈 18—螺母 19—弹簧下座
20—钢球 21—调节螺钉 22—传力杆 23—弹顶装置

使凹模 5 和滑块 4 下行并在螺旋槽内做旋转运动。凸模 10 外缘与凹模 5 内缘做相对运动，对工件 11 进行切边。压力机滑枕上升时，顶圈 14 在弹顶装置 23 的作用下将滑块 4 沿螺旋方向顶至原位。弹簧 16、顶料板 13 将制件 11 和压料芯 6 顶出，取出压料芯和工件。

模具初装时，增加或减少凹模与滑块之间的垫片厚度，可以调整凹模刃口平面的高度；增加或减少顶料板与弹簧座套之间的垫片，可以调整压料芯的上平面高度，借以达到调整凸、凹模间隙的目的。

第 3 章 弯 曲

弯曲是将平直板材或管材、型材，用模具或其他工具弯成具有一定角度或一定形状工件的加工方法，是冲压的基本工序之一，在冲压生产中占有很大的比重。采用弯曲成形的零件种类繁多，如汽车大梁、自行车车把、门窗铰链、各种电器零件支架等。

3.1 弯曲方法与变形特点

3.1.1 弯曲方法

弯曲件的形状很多，有 V 形件、U 形件、Z 形件、O 形件以及其他形状的零件。弯曲方法根据所用的设备及模具的不同而变化。弯曲成形通常在机械压力机（冲床）、摩擦压力机或液压机上进行，此外也有在折弯机、卷板机、弯管机、拉弯机等专用设备上完成的。

在压力机上弯曲的特点是工具做直线运动，称为压弯；在一些专用设备上的弯曲成形，工具做旋转运动的，称为绕弯、卷圆或辊压，如图 3-1 所示。

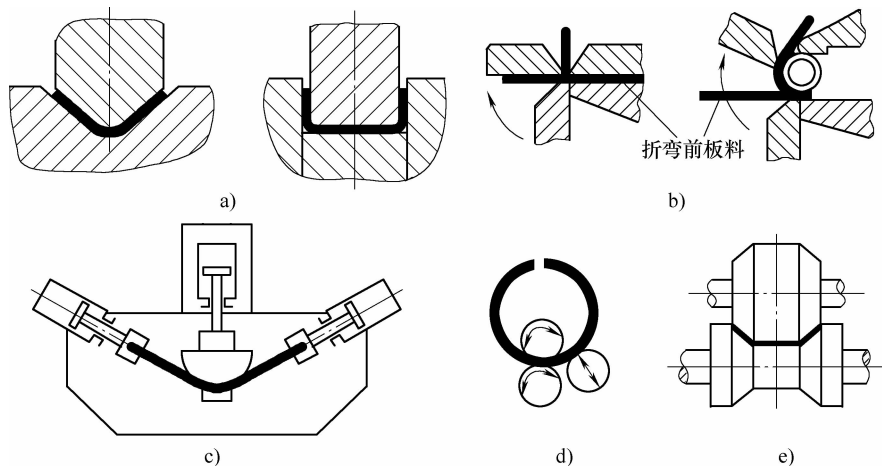


图 3-1 弯曲加工方式

a) 压弯 b) 折弯 c) 拉弯 d) 滚弯 e) 辊形

3.1.2 弯曲变形的特点

弯曲过程中，当坯料上作用有外弯曲力矩时，坯料的曲率半径会发生变化。图 3-2 显示了板弯曲变形区（ABCD 部分）内切向应力的变化情况。

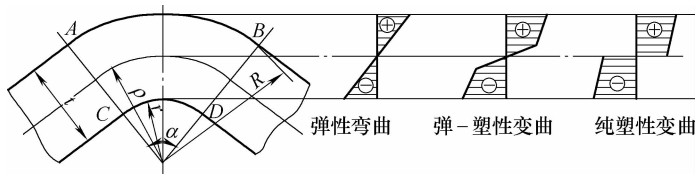


图 3-2 弯曲坯料变形区切向应力分布

弯曲过程中，内区（靠近曲率中心线一侧）切向受压力，外区（远离曲率中心一侧）受拉力。

根据变形程度，弯曲过程可分为三个阶段：

（1）弹性弯曲 在变形开始时，变形程度较小，坯料变形区应力最大的内、外表面的材料没有产生屈服，变形区内材料仅为弹性变形。

（2）弹-塑性弯曲 随着变形的增大，坯料变形区内、外表面材料首先屈服，进入塑性变形状态，随着变形的进一步增大，塑性变形由表面向中心逐步扩展。

（3）纯塑性弯曲 变形到一定程度，整个变形区的材料完全处于塑性变形状态。

图 3-3 所示为板料弯曲时的变形特点。

分析变形前后工件侧壁网格及断面可以得出如下结论：

1) 变形区主要发生在弯曲件的圆角部分，直线部分没有变形，只是刚性移动。

2) 从弯曲件变形区的横断面来看，对于窄板（宽度与厚度之比 $b/t < 3$ ）弯曲，其横断面由矩形变成了扇形，而对于宽板（ $b/t > 3$ ）弯曲，其横断面几乎保持不变，仍为矩形。这是由于板料的相对宽度 b/t 直接影响板料沿着宽度方向的应变，进而影响应力的缘故。因而 b/t 不同，其应力和应变状态也不相同。

3) 无论窄板还是宽板，在变形区内，纵向金属纤维长度发生了变化，内层（靠凸模一侧）纵向纤维受压而缩短，外层（靠凹模一侧）纵向纤维受拉而伸长。由于从内表面到外表面，其纵向纤维的长度是连续变化的，因而在内层与外层中间存在一个既不伸长也不缩短的中间层，称为应变中性层。根据塑性变形体积不变的原则，外侧纵向为最大伸长应变，故横向和径向均为伸长应变；内侧纵向为最大压缩应变，横向和径向均为压缩应变。

当弯曲半径小时，被压缩的材料向端面方向流动，在板料侧面形成凸点，凸点的高度值介于 $(0 \sim 0.5) t$ 。弯曲半径越小、材料越厚，形成的凸点越高。这种凸点对于需要拼焊的零件将会产生不利影响。

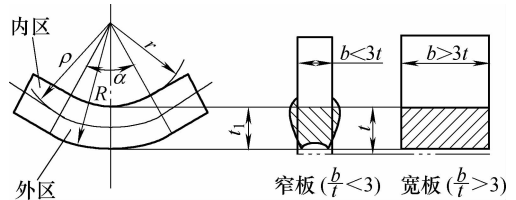


图 3-3 板料弯曲时的变形特点

3.2 弯曲件的工艺性

弯曲件的工艺性是指弯曲件对冲压工艺的适应性。对弯曲件进行结构工艺性分析是

判定弯曲成形难易、制订冲压方案及进行模具设计的依据。工艺性好的弯曲件，不仅能得到良好的质量，而且能简化工艺和模具。弯曲件的工艺性主要表现在以下几方面。

1. 最小弯曲半径

弯曲件相对弯曲半径 r/t 小到一定程度，会使弯曲件外表面纤维的拉深应变超过材料所允许的极限而出现裂纹或折断，所以对弯曲件有一个最小弯曲半径的限制。在保证坯料外表面纤维不发生破坏的前提下，工件能够弯成的内表面最小圆角半径，称为最小弯曲半径 $r_{\min}$ 。相应地， $r_{\min}/t$ 称最小相对弯曲半径。

影响最小弯曲半径的因素如下：

(1) 材料的力学性能 材料的塑性越好，其塑性指标越高，最小弯曲半径也越小。

(2) 材料的纤维方向与折弯线方向的关系 轧制的板料是各向异性的，顺着纤维方向的塑性指标高于垂直于纤维方向的塑性指标。因此，弯曲折弯线如果垂直于板料纤维方向，则 $r_{\min}/t$ 的数值小于折弯线与纤维方向平行弯曲 $r_{\min}/t$ 值。当弯曲 r/t 较小的工件时，尽量使折弯线垂直于板料的纤维方向，以提高变形程度，避免外层纤维拉裂。多向弯曲的工件，可使折弯线与板料纤维方向成一定角度。折弯线与板料纤维方向的关系如图 3-4 所示。

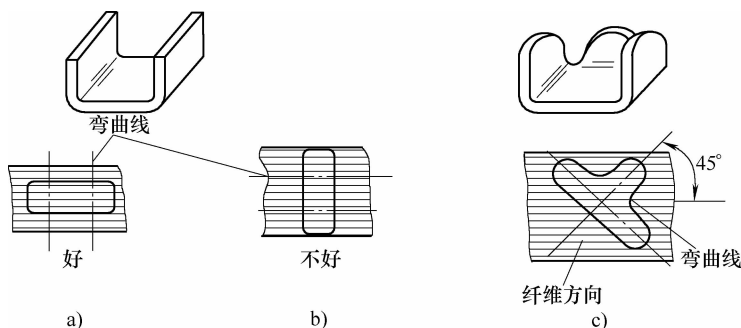


图 3-4 折弯线与板料纤维方向的关系

a) 折弯线与板料纤维垂直 b) 折弯线与板料纤维平行 c) 折弯线与板料纤维成一定角度

(3) 板料的表面质量与坯料断面质量 坯料表面如有划伤、裂纹，或者侧面（剪切或冲裁断面）有毛刺、裂口和冷作硬化等缺陷，弯曲时易于开裂。所以表面质量和断面质量较差的板料，其最小相对弯曲半径 $r_{\min}/t$ 的数值较大，如图 3-5 所示。对于厚板的弯曲，为防止弯裂，最好将有冲裁毛刺的一面放在弯曲内部，如图 3-6 所示。

(4) 板料的厚度 一般板料厚度越大，最小弯曲半径也越大。这主要是因为变形区内切向应变在厚度方向上按线性规律变化，表面上最大，中性层上为零。当板料厚度较小时，切向应变变化的梯度大，其数值很快地由最大值衰减为零。与切向变形最大的外表面相邻的金属，可以起到阻止表面金属产生局部的不稳定塑性变形的作用。所以在这种情况下可能得到较大的变形和较小的最小弯曲半径。换言之，板材厚度越小， r/t 比例也越小。

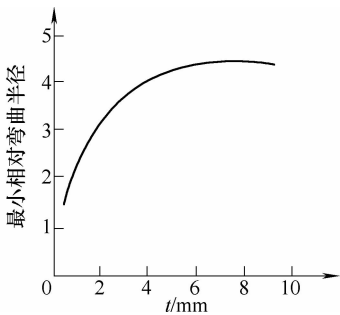


图 3-5 板料厚度对最小弯曲半径的影响

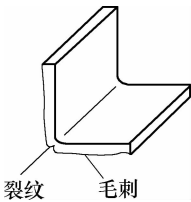


图 3-6 厚板弯曲时的毛刺方向
(毛刺方向向外易发生裂纹)

表 3-1 列出了最小弯曲半径数值，管料弯曲件的最小弯曲半径见表 3-2。

表 3-1 最小弯曲半径

材 料	退火状态		冷作硬化状态	
	弯曲线的位置			
	垂直纤维	平行纤维	垂直纤维	平行纤维
08、10、Q195、Q215-A	0.1 <i>t</i>	0.4 <i>t</i>	0.4 <i>t</i>	0.8 <i>t</i>
15、20、Q235-A	0.1 <i>t</i>	0.5 <i>t</i>	0.5 <i>t</i>	1.0 <i>t</i>
45、50、Q275	0.5 <i>t</i>	1.0 <i>t</i>	1.0 <i>t</i>	1.7 <i>t</i>
60Mn、T8	1.2 <i>t</i>	2.0 <i>t</i>	2.0 <i>t</i>	3.0 <i>t</i>
纯铜	0.1 <i>t</i>	0.35 <i>t</i>	1.0 <i>t</i>	2.0 <i>t</i>
软黄铜	0.1 <i>t</i>	0.35 <i>t</i>	0.35 <i>t</i>	0.8 <i>t</i>
黄铜(半硬)	0.1 <i>t</i>	0.35 <i>t</i>	0.5 <i>t</i>	1.2 <i>t</i>
磷铜	—	—	1.0 <i>t</i>	3.0 <i>t</i>
铝	0.1 <i>t</i>	0.2 <i>t</i>	0.3 <i>t</i>	0.8 <i>t</i>
半硬铝	1.0 <i>t</i>	1.5 <i>t</i>	1.5 <i>t</i>	2.5 <i>t</i>
硬铝	2.0 <i>t</i>	3.0 <i>t</i>	3.0 <i>t</i>	4.0 <i>t</i>

- 注：1. 当弯曲线与辗纹成一角度时，应按角度大小，选用居于其间的数值。
2. 表中数值适用于冲件毛刺在弯角内层的弯曲，毛刺在弯角外层时，应放大弯曲半径。
3. 在冲裁或剪切后没有退火的毛坯弯曲时，应作为硬化的金属选用。
4. t 为材料厚度。

表 3-2 管料最小弯曲半径

管 壁 厚 度	最小弯曲半径 R	管 壁 厚 度	最小弯曲半径 R
0.02d	4d	0.10d	3d
0.05d	3.6d	0.15d	2d

注： d 为管料或杆料外径。

2. 直边高度

弯曲直角时（见图 3-7a），弯曲件直边最小高度 $h = 2t$ ；当弯曲侧边带有斜角的弯曲件时（见图 3-7b），侧边的最小高度 $h_{\min}$ 为 $(2 \sim 4)t$ 或 $1.5t + r$ 。

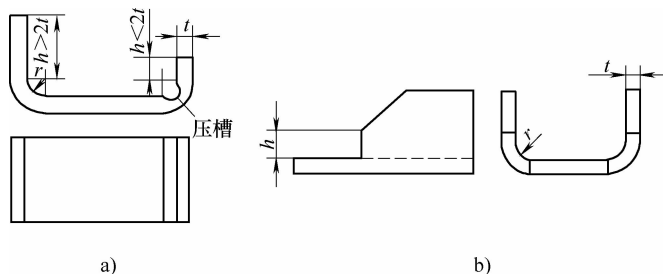


图 3-7 弯曲件的直边与侧边高度

a) 弯曲件直边高度 b) 弯曲件侧边高度

3. 孔边距

如果孔距离弯曲线太近，则弯曲时孔形会发生畸变，为此必须使孔处于变形区外，如图 3-8 所示，即孔边到弯曲半径 r 中心的距离 s 应满足以下条件。

- 1) 当 $t < 2\text{mm}$ 时， $s \geq t$ 。
- 2) 当 $t \geq 2\text{mm}$ 时， $s \geq 2t$ 。

4. 形状与尺寸的对称性

弯曲件的形状与尺寸应尽量对称，如图 3-9 所示，该零件的圆角半径满足 $r_1 = r_2$ 、 $r_3 = r_4$ 比较好。

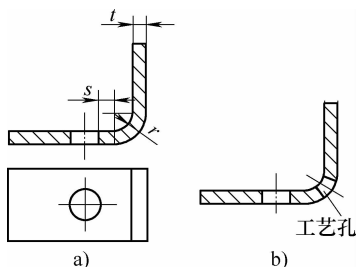


图 3-8 弯曲件孔边距

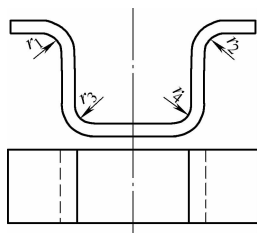


图 3-9 弯曲件的对称性

3.3 弯曲力的计算

弯曲力的大小与毛坯尺寸、材料力学性能、凹模支点间的距离、相对弯曲半径、模具间隙、材料与模具的摩擦因数、弯曲角的大小、弯曲方式等因素有关，因此难以在理论上精确计算弯曲力，在生产中通常是采用经验公式或经过简化的理论公式计算。

1) V 形自由弯曲经验公式为

$$F = \frac{Cbt^2R_m}{2L} = KbtR_m$$

式中 F ——弯曲力 (N);
 C ——系数;
 b ——宽度 (mm);
 t ——料厚 (mm);
 R_m ——抗拉强度 (MPa);
 $2L$ ——支点间距离 (mm);
 K ——系数, $K \approx \left(1 + \frac{2t}{L}\right) \frac{t}{L}$ 。

2) V 形接触弯曲经验公式为

$$F = 0.6 \frac{Cbt^2R_m}{r + r_p}$$

式中 C ——系数, 取值为 1 ~ 1.3;
 r_p ——凸模圆角半径 (mm)。

3) U 形自由弯曲经验公式为

$$F = KbtR_m$$

式中 K ——系数, 取值为 0.3 ~ 0.6。

4) U 形接触弯曲经验公式为

$$F = 0.7 \frac{Cbt^2R_m}{t + r_p}$$

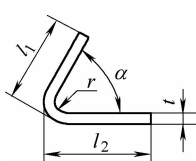
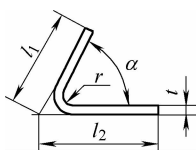
式中 C ——系数, 取值为 1 ~ 1.3。

3.4 弯曲件展开长度计算

弯曲件展开长度计算原则是毛坯展开长度应该等于弯曲后应变中性层的长度。

(1) $r/t > 0.5$ 的弯曲件 $r/t > 0.5$ 的弯曲件毛坯展开长度的计算公式见表 3-3。

表 3-3 毛坯展开长度的计算公式 ($r/t > 0.5$)

弯曲形式	简 图	计 算 公 式
单角弯曲(切点尺寸)		$L = l_1 + l_2 + \frac{\pi(180^\circ - \alpha)}{180^\circ}(r + xt) - 2(r + t)$
单角弯曲(交点尺寸)		$L = l_1 + l_2 + \frac{\pi(180^\circ - \alpha)}{180^\circ}(r + xt) - 2\text{ctg} \frac{\alpha}{2}(r + t)$

(续)

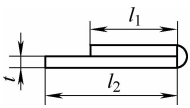
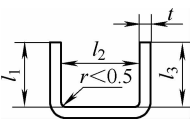
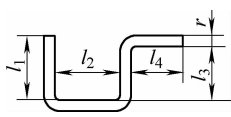
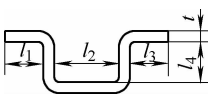
弯曲形式	简 图	计 算 公 式
单角弯曲(中心尺寸)		$L = l_1 + l_2 + \frac{\pi(180^\circ - \alpha)}{180^\circ}(r + xt)$
双直角弯曲		$L = l_1 + l_2 + l_3 + \pi(r + xt)$
四直角弯曲		$L = l_1 + l_2 + l_3 + l_4 + l_5 + \frac{\pi}{2}(r_1 + r_2 + r_3 + r_4) + \frac{\pi}{2}(x_1 + x_2 + x_3 + x_4)t$
半圆弯曲		$L = l_1 + l_2 + \pi(r + xt)$

(2) $r/t \leq 0.5$ 的弯曲件 这一类弯曲件折弯处材料严重变薄, 因此按体积相等原则计算出的毛坯尺寸还需要加以修正。表 3-4 列出了这类弯曲件毛坯尺寸的公式。

表 3-4 毛坯展开长度的计算公式

弯曲形式	简 图	计 算 公 式
单角弯曲		$L = l_1 + l_2 + 0.5t$
		$L = l_1 + l_2 + \frac{\alpha}{90^\circ} \times 0.5t$

(续)

弯曲形式	简 图	计 算 公 式
单角弯曲		$L = l_1 + l_2 + t$
双角弯曲		$L = l_1 + l_2 + l_3 + 0.5t$
三角弯曲		同时弯三个角 $L = l_1 + l_2 + l_3 + l_4 + 0.75t$ 先弯两个角,后弯另一角 $L = l_1 + l_2 + l_3 + l_4 + t$
四角弯曲		$L = l_1 + l_2 + l_3 + 2l_4 + t$

注： $r/t \leq 0.5$ 。

(3) 卷圆毛坯展开长度计算 对于 r 为 $(0.6 \sim 3.5)t$ 的铰链式弯曲件，可用卷圆方法进行弯曲，如图 3-10 所示。

铰链卷圆时，凸模对毛坯一端施加的是压力，故产生不同于一般压弯的塑性变形，材料不是变薄而是增厚了，中性层由板料厚度中间向弯曲外层移动，因此中性层位移系数大于或等于 0.5。

应当指出，材料特性、工件厚度、弯曲形状与尺寸、弯曲方式、弯曲加工条件等因素都会影响弯曲件长度的变化。因此，上述各种弯曲件展开尺寸的计算方法仅适用于形状简单、尺寸精度要求不高的弯曲件。对于形状比较复杂或尺寸精度要求高的弯曲件，按上述方法计算出来的展开尺寸，还要经过反复试弯，最后才能确定合适的弯曲件毛坯尺寸。

表 3-5 列出了两种卷圆形式的毛坯展开长度计算公式，卷圆时中性层位移系数 x 见表 3-6。

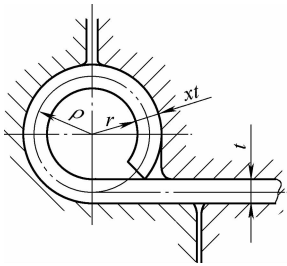
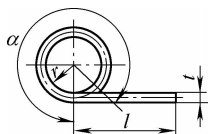


图 3-10 卷圆

表 3-5 两种卷圆形式的毛坯展开长度计算公式

弯曲形式	简 图	计 算 公 式
铰链卷圆		$L = l + \frac{\pi\alpha}{180^\circ}(r + xt)$

(续)

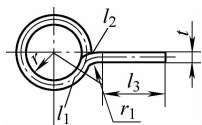
弯曲形式	简 图	计 算 公 式
吊环卷圆		$L = 1.5l\pi(r + xt) + l_1 + l_2 + l_3$

表 3-6 卷圆时中性层位移系数 x

r/t	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.8	2.0	2.5	≥ 3
x	0.77	0.76	0.75	0.73	0.72	0.70	0.69	0.67	0.66	0.64	0.62	0.60	0.58	0.54	0.52	0.5

3.5 弯曲件的工序安排

弯曲件的工序安排应根据工件形状的复杂程度、精度要求的高低、生产批量的大小以及材料的力学性能等因素进行考虑，弯曲工序安排合理，则可以减少工序，简化模具设计，提高工件的质量和产量。反之，则工件质量低劣，废品率高。

1) 对于形状简单的弯曲件，如 V 形、U 形、Z 形等件，可以采用一次压弯成形，如图 3-11 所示。

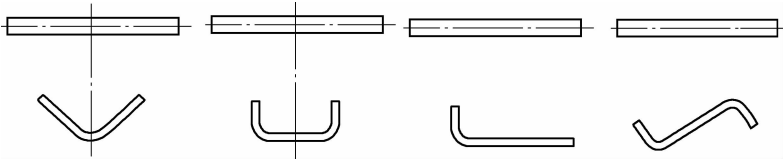


图 3-11 一道工序弯曲成形

2) 对于形状较复杂的弯曲件，一般需要采用两次或多次压弯成形，如图 3-12 和图 3-13 所示。但对于某些尺寸小、材料薄、形状较复杂的弹性接触件，最好采用一次复合弯曲成形较为有利。如采用多次弯曲，则定位不易准确，操作不方便，同时材料经过多次弯曲也易失去弹性。

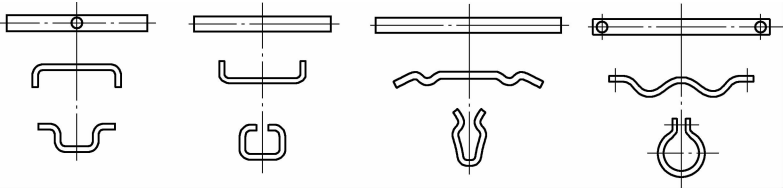


图 3-12 二道工序弯曲成形

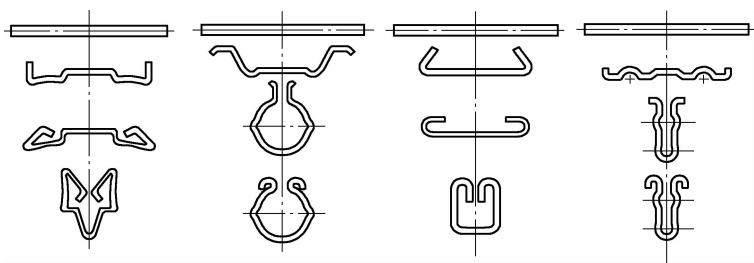


图 3-13 三道工序弯曲成形

3) 对于批量大尺寸较小的弯曲件，为了提高生产率，可以采用多工序的冲裁、压弯、切断连续工艺成形，如图 3-14 所示。

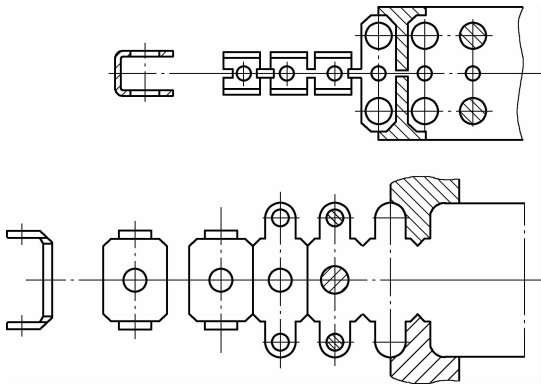


图 3-14 连续工艺成形

4) 弯曲件本身带有单面几何形状时，若单件压弯毛坯容易发生偏移，故可以采用成对弯曲成形，弯曲后再切开，如图 3-15 所示。

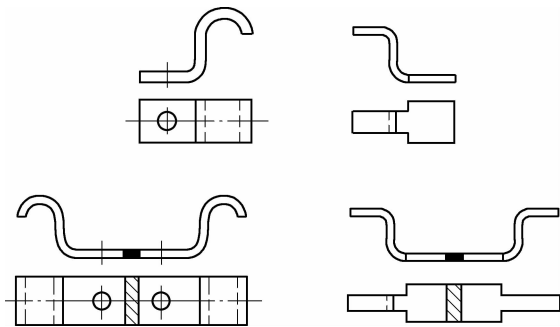


图 3-15 成对弯曲成形

3.6 弯曲模工作部分的设计

弯曲模的工作部分主要包括凸模、凹模的圆角半径，凹模的工作深度，凸、凹模间

隙等，如图 3-16 所示。

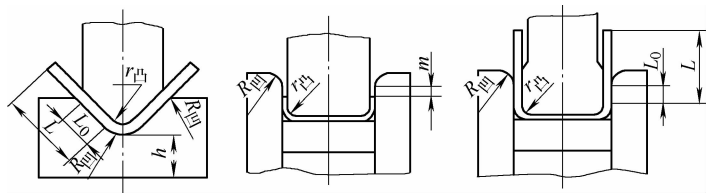


图 3-16 弯曲模工作部分结构尺寸

3.6.1 凸、凹模的圆角半径

1. 凸模圆角半径 $r_{凸}$

一般 $r_{凸}$ 等于工件的图示半径 r ；如果图样未给出明确的 $r_{凸}$ 尺寸，则 $r_{凸} = t$ ；如果图示尺寸小于最小弯曲半径，则应先弯曲一个大于图示尺寸的角度，然后增加整形工序。

如果 $r/t \geq 4$ ，则应考虑回弹因素，适当修正凸模圆角半径。

2. 凹模圆角半径 $R_{凹}$

凹模圆角半径并不直接影响工件的成形尺寸，但 $R_{凹}$ 太小会在弯曲时擦伤毛坯，使材料表面出现划痕；太大会增加凹模深度。对于一般弯曲件，凹模圆角半径可在料厚的 4~6 倍间选取，料厚大于 1mm 时取小值，料厚小于 1mm 时取大值，即

$$R_{凹} = (4 \sim 6)t$$

圆角半径的表面粗糙度要求达到 $0.2\mu\text{m}$ 以下，对称弯曲时，应做到两边一致，否则弯曲时材料会发生漂移。

3.6.2 凹模深度

这里指的是凸模进入凹模的深度，这个数值是以凹模开口深度减去凸模或凹模圆角半径来计算的。

$r_{凸} \leq R_{凹}$ 情况下，凹模深度 = 凹模开口深度 - 凹模圆角 - 顶料板厚度。

弯曲 V 形件时，凹模深度及底部最小厚度 h 可查表 3-7。

表 3-7 V 形件的凹模深度 L_0 及底部最小厚度 h (单位：mm)

弯曲件边长 L	材料厚度 t					
	< 2		2 ~ 4		> 4	
	h	L_0	h	L_0	h	L_0
> 10 ~ 25	20	10 ~ 25	22	15	—	30
> 25 ~ 30	22	15 ~ 20	27	25	32	30
> 50 ~ 75	27	20 ~ 25	32	30	37	35
> 75 ~ 100	32	25 ~ 30	37	35	42	40
> 100 ~ 150	37	30 ~ 35	42	40	47	50

U 形件凹模深度要适当。凹模深度过小，毛坯两边自由部分太多，工件弹性大，不平直；凹模深度过大，凹模增大、消耗模具钢材多，并且需要压力机有较大的工作行程。如果弯曲件平直度要求不高、边长较短，凹模深度取材料厚度的 4~8 倍计算，但绝对值最小不少于 2mm。

如果弯曲件平直度要求较高，凹模深度可根据表 3-8 来确定。

表 3-8 U 形件弯曲凹模工作段深度 L_0 (单位: mm)

弯曲件边长 L	材料厚度 t				
	≤ 1	$> 1 \sim 2$	$> 2 \sim 4$	$> 4 \sim 6$	$> 6 \sim 10$
< 50	15	20	25	30	30
$> 50 \sim 75$	20	25	30	35	40
$> 75 \sim 100$	25	30	35	40	40
$> 100 \sim 150$	30	35	40	50	50
$> 150 \sim 200$	40	45	55	65	65

在不锈钢制品生产中，凹模深度在设计时可参照低碳钢弯曲数据，但试模时则应取小优先，这是因为凹模深度大势必增加抛光工作量。

U 形件折弯模设计中，凹模开口深度（包括顶底厚度）应不大于凹模厚度总量的 2/5，防止模具被弯曲过程中产生的张力撑裂。另外，在热处理工艺中，弯曲模一般只对凹模圆角做局部处理，保持模具底部的韧性，以保证模具寿命。

3.6.3 凸、凹模间隙

V 形件弯曲，凸模和凹模之间的间隙是靠调节压力机的闭合高度来控制的，不需要在设计和制造模具时考虑。

对于 U 形件，凸模和凹模之间的间隙值对弯曲件的回弹、表面质量和弯曲力均有很大影响。间隙值过小，需要的弯曲力大，而且会使零件的边部壁厚减薄，降低凹模的使用寿命，同时会擦伤工件直壁，影响产品外观。间隙值过大，弯曲件的回弹增加，工件的精度难以保证。

凸模和凹模之间的单边间隙值一般可按下式计算：

$$Z = t_{\max} + Ct = t + \Delta + Ct$$

式中 Z ——弯曲凸模和凹模之间的单边间隙（mm）；

t ——材料厚度的公称尺寸（mm）；

$t_{\max}$ ——材料厚度的最大值（mm）；

C ——间隙系数（见表 3-9）；

Δ ——材料厚度的上极限偏差（mm）。

在不锈钢制品生产中，凸、凹模间隙视工件的精度和外观要求取大优先，一般按材料厚度的 8%~12%（单边）选取，但绝对值不小于 0.04mm。有贴膜的材料可连同贴

膜一起弯曲，成形后再将贴膜撕掉。

表 3-9 U 形件弯曲模的间隙系数 C

弯曲件高度 <i>h</i> /mm	材料厚度 <i>t</i> /mm									
	<i>b</i> / <i>h</i> ≤ 2					<i>b</i> / <i>h</i> > 2				
	<0.5	0.6 ~ 2	2.1 ~ 4	4.1 ~ 5		<0.5	0.6 ~ 2	2.1 ~ 4	4.1 ~ 7.5	7.6 ~ 12
10	0.05	0.05	0.04	—		0.10	0.10	0.08	—	—
20	0.05	0.05	0.04	0.03		0.10	0.10	0.08	0.06	0.06
35	0.07	0.05	0.04	0.03		0.15	0.10	0.08	0.06	0.06
50	0.10	0.07	0.05	0.04		0.20	0.15	0.10	0.06	0.06
70	0.10	0.07	0.05	0.05		0.20	0.15	0.10	0.10	0.08
100	—	0.07	0.05	0.05		—	0.15	0.10	0.10	0.08
150	—	0.10	0.07	0.05		—	0.20	0.15	0.10	0.10
200	—	0.10	0.07	0.07		—	0.20	0.15	0.15	0.10

3.6.4 弯曲模脱料方式

1. 通过式脱料

折边高度小于滑枕行程的 1/3 的盒形件，只要底平面平整度要求不高，都可以采用通过式脱料结构，如图 3-17 所示。

通过式脱料折边模具是利用材料的回弹来实现脱料的，要求凹模刚性好。在凹模下方垫入矩形条料，成形后的工件由条料间的空档出料，也可以将下模座洞穿，直接漏料。

通过式脱料折边模工作效率高，方便实现自动化，但底平面平整度要求高或者折边位不允许擦伤的工件不适合采用该方法。

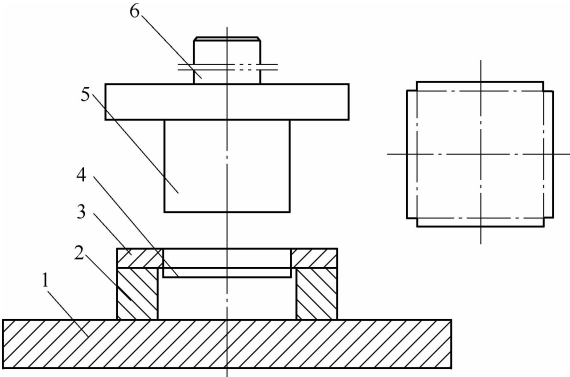


图 3-17 通过式脱料折边模

1—下模座 2—凹模垫 3—凹模 4—工件 5—凸模 6—模柄

2. 拉料钩出料

利用工件成形前后的壁厚差，在凹模上装置拉料钩可使工件脱离凸模。设计这种脱料方式时，需与顶料板同时使用。

这种脱料方式适合于小件和弯曲深度不大的工件。

3. 顶出式出料

顶料板与工件出料端面配形，置于凹模型腔底部，由弹簧、弹力橡胶或压力机滑块回程提供动力。这种方式主要用于 U 形件弯曲模。

4. 轴向出料

适用于中轴线为直线的闭环、开环类工件，不适用于中轴线为曲线的工件，如鹤颈式不锈钢壶嘴、弯头。这种模具可手工脱料，也可由本身自带的斜板和滚轮提供动力。在弹簧力的作用下，冲头下降时脱料圈后退，冲头回程时滚轮带动脱料圈前进，将工件推离凸模。

5. 打料杆出料

适用于面积较大和弯曲深度较大的工件。由打料杆提供动力，在冲头上升时经打料板将工件推离凸模。其模具结构图与布置与倒装式落料模相同。

6. 销钉顶出式脱料

这种方式与顶料板配合使用，适用于底面积大、平整度要求高的制件，销钉背后用强力弹簧提供压力。上模压力解除后，销钉在弹簧的作用下复位，将工件推离凸模，如图 3-18 所示。

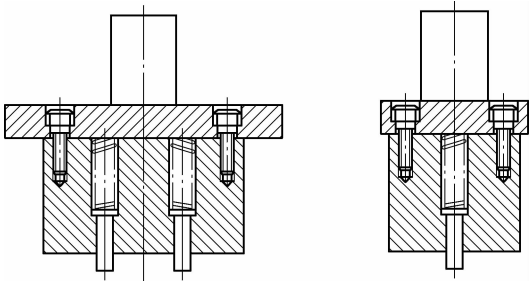


图 3-18 顶料销脱料

7. 提动钩式脱料

提动钩式脱料属于强制性脱料，适用于弯曲后脱料力相对较大的工件。图 3-19 所示为某型号摩托车前叉制动钢索揽折槽弯曲模。

上模向下运行时，固定提钩 1 推动活动提钩 9 压迫片簧 7 向里运动；上模上升初始阶段，固定提钩 1 与活动提钩 9 啮合，通过提动板 14 和顶料块 5 将工件 4 顶出凹模 6；随后打料块 10 和活动提钩上 9 的凸点相对作用，活动提钩被分离接触，提动板 14 在弹簧 13 的作用下复位。

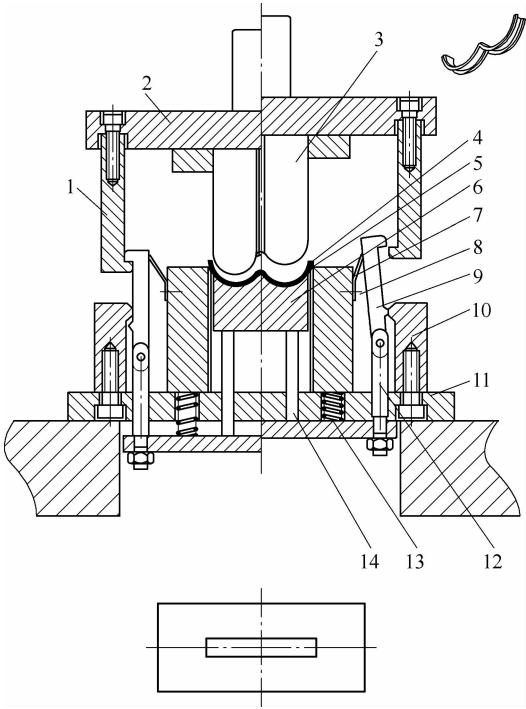


图 3-19 提动钩式脱料

- 1—固定提钩 2—上模座 3—凸模 4—工件 5—顶料块
6—凹模 7—片簧 8—固定螺钉 9—活动提钩
10—打料块 11—下模座 12—连接销
13—复位弹簧 14—提动板

8. 箍式脱料

如果凸模宽度窄小，横截面不够安装弹簧时，可以采用脱料箍将制件从凸模上压下来，制件分离后脱料箍在弹簧的作用下缩回，如图 3-20 所示。

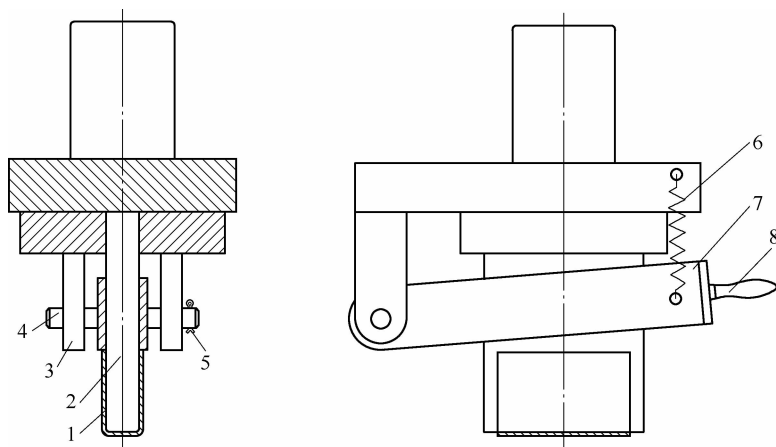


图 3-20 箍式脱料

1—工件 2—凸模 3—支架 4—小轴 5—开口销 6—弹簧 7—脱料箍 8—手柄

3.6.5 弯曲模定位件

1) 弯曲坯料应尽可能利用工件上的冲制孔来定位；如果条件不具备，就只能以外轮廓定位了。

2) 工件外轮廓定位时，并不要求轮廓线全部贴合，只要有三点接合即可，其余部分应予剔空。一般取一段较长的直边或较大的圆弧来代替两点，而在通过中心点的另一边选择一点来定位。

3) 外轮廓定位有靠边与定位边之分，通常靠边在左，定位边在右。以较长的直边或较大的圆弧作靠边。

4) 如果材料厚度大于 1.0mm，可以直接利用冲裁时的废料来制作弯曲模的定位件。

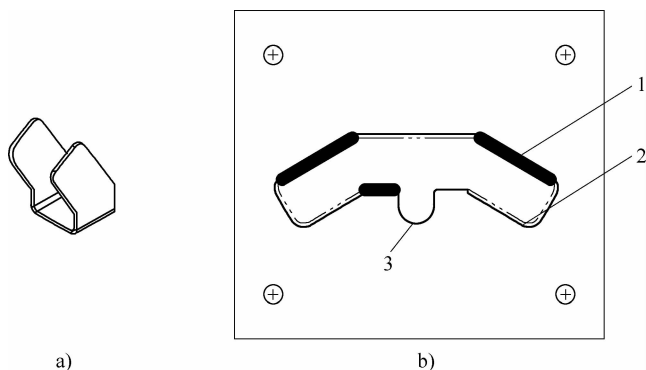


图 3-21 快速制作折弯件定位

a) 成形件 b) 定位

1—保留的边线 2—挫松的边线 3—手工工具进入空位

- 5) 如果材料厚度小于 1.0mm，选择材料厚度比冲件略大的材料一块，在压力机上冲出轮廓；然后将轮廓线大部分锉空，只留下三个互成 120°的点，锉削至与冲件配合稍有松动即可（间隙 0.04 ~ 0.10mm，视产品精度要求定）。
- 6) 定位件的安装方式原则上应在热处理前确定，并且在相应的位置钻孔攻螺纹；如果不慎在热处理前未有作以上处置，可用双组分丙烯酸酯胶黏剂进行黏合；黏合前应应用丙酮或酒精将结合面清洗干净；黏合后要保证足够的固化时间。

3.6.6 常用形式弯曲模设计

弯曲模设计应在选定弯曲件工艺方案的基础上进行，为了保证达到工件的要求，在进行弯曲模的结构设计时，必须注意以下几点：

- 1) 坯料放置在模具上应保证可靠的定位。
- 2) 在压弯的过程中应防止毛坯的滑动。
- 3) 为了减小弹复，在冲程结束时应使工件在模具中得到校正。
- 4) 弯曲模的结构应考虑到制造与维修中减小弹复的可能。
- 5) 毛坯放入到模具上和压弯后从模具中取出工件要方便。

1. V 形件弯曲模

一般 V 形件弯曲模可采用如图 3-22a 所示的结构，其中的弹簧顶杆是为了防止压弯时坯料偏移而采用的压料装置，如果弯曲件精度要求不高，压料装置也可不用，以简化模具设计。

对于两直边不等长 V 形件，可采用如图 3-22b 所示的结构。当 V 形件其中一边很长时，可采用图 3-22c 所示的结构。这两种结构均采用了压料装置和定位销定位，压弯时毛坯不会发生偏移，保证了弯曲件的质量。

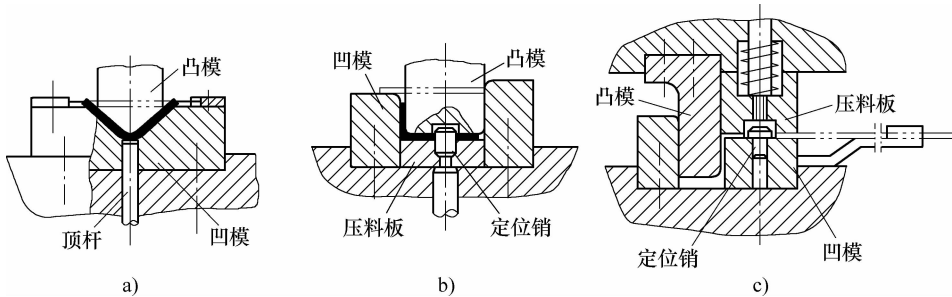


图 3-22 带有压料装置及定位销的 V 形件弯曲模

2. U 形件弯曲模

U 形件弯曲模如图 3-23 所示。

图 3-23a 所示为一般 U 形件的弯曲模，压弯时压料板将毛坯压住，弯曲后将工件顶起，如果工件卡在凸模上，便由推杆推下。

图 3-23b 所示为闭角弯曲模，用以弯制夹角小于 90°的 U 形件，压弯时凸模首先将

毛坯弯曲成U形，当凸模继续下压时，凸模与活动凹模相接触并使左右活动凹模绕中心向当中旋转，最后使毛坯压弯成形。当凸模上升后，弹簧使活动凹模复位，工件从垂直于图面方向卸下。

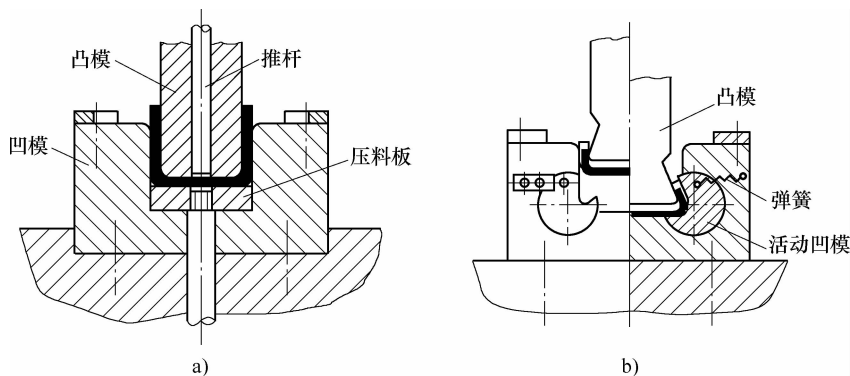


图 3-23 U 形件弯曲模

3. Z 形件弯曲模

Z 形件弯曲模如图 3-24 所示。

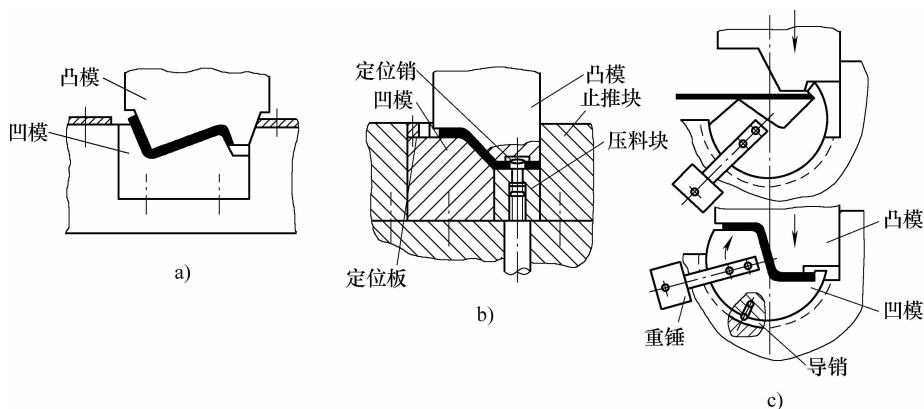


图 3-24 Z 形件弯曲模

如图 3-24a 所示的模具结构简单，易于修理，但没有压料装置，压弯时坯料容易窜动，用于工件精度要求不高的情况下。

如图 3-24b 所示的模具有压料装置，毛坯由定位板和定位销定位，压弯时凸模与压料块始终把毛坯压住，防止了毛坯的偏移，止推块用以防止凸模的偏移，同时也给压料块导向。

如图 3-24c 所示的模具采用转动凹模结构，毛坯由一边定位，凸模下压时凹模转动逐渐将毛坯弯曲成形，这种结构同样有利于防止毛坯的偏移。转动凹模靠一重锤反转复位，凹模下有一导正销插入底座的槽钢中，在凹模转动时起导向作用。

3.7 弯曲模典型结构与工艺

3.7.1 弯曲模典型结构

1. U 形件弯曲模通式

U 形件有两种形式弯曲模具：一种是自由弯曲模，一种是带顶底的弯曲模。

平底的 U 形工件应优选带顶底的结构形式。这是因为，自由弯曲时，材料在杠杆挠曲力的作用下，会在凸模中线位置处生成一段圆弧。而带顶底的结构形式在凸模刚接触材料时，顶底的预加力就已经对材料施加了压力，不但防止了挠曲变形的发生，还可以增强定位作用，防止材料滑移，如图 3-25 所示。

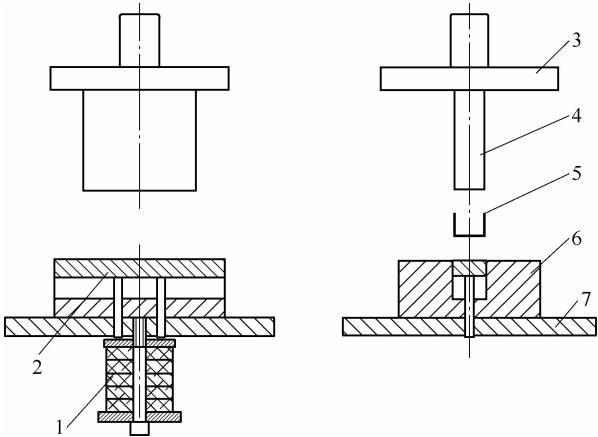


图 3-25 U 形件弯曲模通式

1—弹性元件 2—顶底 3—上模座 4—凸模 5—工件 6—凹模 7—下模座

2. V 形件弯曲模通式

V 形件弯曲模通常作为四面体或多面体表面壳体的折边用，无须顶底。为了克服回弹的影响，凹模根据产品要求做成标准角度，而将回弹角加在凸模上。加工凹模时，两斜面的交角处应予以清角，如图 3-26 所示。

无论是 U 形件还是 V 形件，对于幅面或边长较大的工件而言，模具安装应尽量选择工作速度较慢的机床，如用液压折弯机代替机械压力机（冲床）。这是因为，凸模工作速度过快，远端坯料因为惯性而跟不上凸模的反应速度，造成工件在凹模 R 处硌伤，如图 3-27 所示。

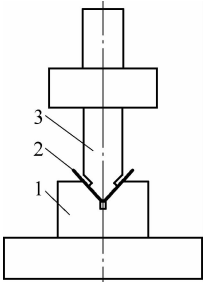


图 3-26 V 形件弯曲模通式

1—凹模 2—工件 3—凸模

3. 可调整间隙 U 形折弯模

在生产中，尤其是在样品试制或打样生产过程中，为

了增强模具的适应能力,常将U形折弯模的一半做成活动的。

批量大、表面精度要求高的产品,可用硬质合金代替合金钢作凹模入料口。

硬质合金与基体用铜钎焊使二者合为一体。在活动凹模块的后背垫入不同厚度的材料,可以很方便地调整模具间隙。纸张、易拉罐和罐头盒、铝箔、铜箔以及不锈钢薄板都是很好的垫料。以后两种质地的材料为最佳,如图3-28所示。

4. Z形件弯曲模

利用模具对Z形件进行弯曲时,应将坯料倾斜一定角度,使其重心处于水平位置。

在薄料折弯成的工件中压制适当高度的肋,可以克服回弹并极大地提高工件的强度。

图3-29所示为在工件上压制半圆形肋的Z形件折弯模。上下模由整块材料电火花线切割而成。当模具还是整块材料时,在相应的位置钻孔,待分割后再向孔中塞入合适直径的高速钢冲针,将与之相对的位置线切割除去材料厚度,凸、凹模的加工就完成了。

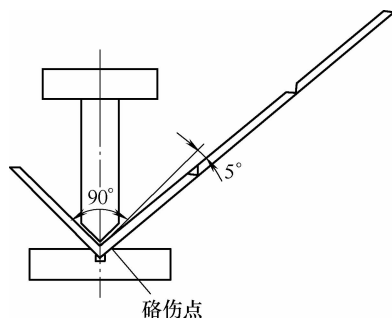


图 3-27 上模速度过快硌伤工件

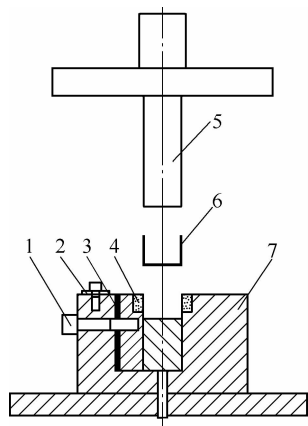


图 3-28 可调整间隙 U 形折弯模

1—锁紧螺栓 2—定位 3—垫料 4—硬质合金 5—凸模 6—工件 7—固定凹模

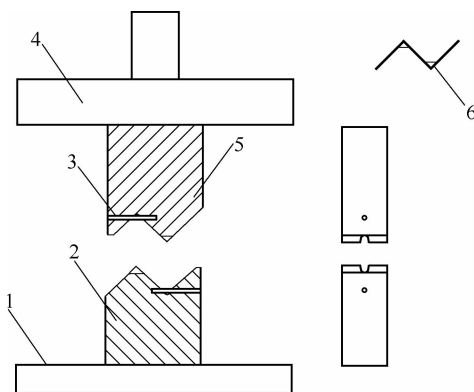


图 3-29 Z 形件弯曲模

1—下模座 2—凹模 3—钢钉 4—上模座 5—凸模 6—工件

5. 带拉料钩的 U 型件弯曲模

有顶底的U形件弯曲模成形后,工件随凸模上升;有时工件会扣紧在凸模上。利用成形前后在宽度方向上的差距,安装在凹模上的拉料钩可在成形后将工件从凸模上拉下来,如图3-30所示。

6. 槽形件内弯模

槽形件向内弯曲的过程中,两边竖直部分的材料会产生剩余并趋向于变厚;转角越小,槽形两侧壁高度越大,凸模 R 值越小,剩余材料越多,变厚程度越大。当变厚值超过脱模间隙时,脱模将十分困难。对应这个问题的解决方法如下:

- 1) 在设计落料模时，将槽形料将要重叠的边缘修去，这种方法会削弱工件强度。
- 2) 凸模足够厚不影响强度时，将坯料增厚处的凸模相应位置挖出凹坑，以容纳弯曲过程中的剩余材料，如图 3-31 所示。

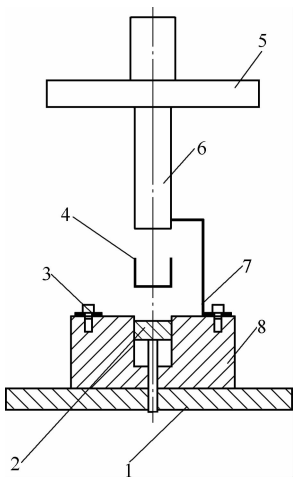


图 3-30 带拉料钩 U 型件弯曲
1—模座 2—顶底 3—定位挡板
4—工件 5—上模座 6—凸模
7—拉料钩 8—凹模

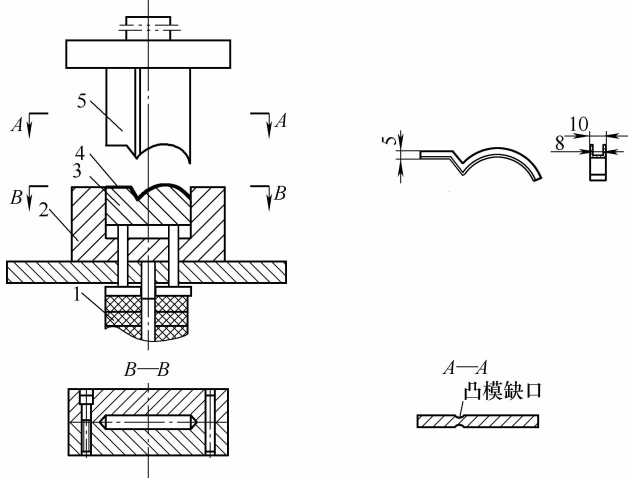


图 3-31 摩托车前叉线揽弯曲模
1—弹顶装置 2—凹模 3—活动顶料块
4—工件 5—凸模

7. 线材截断弯曲复合模

图 3-32 所示为小型方钢切断弯曲模，图 3-33 所示为带导料孔的线材切断弯曲模。上模下行时，上、下剪刀先将材料切断，然后凸模对材料进行弯制，最后由橡胶或者弹顶装置将工件退出凹模。截断凸、凹模要有强有力的后背。

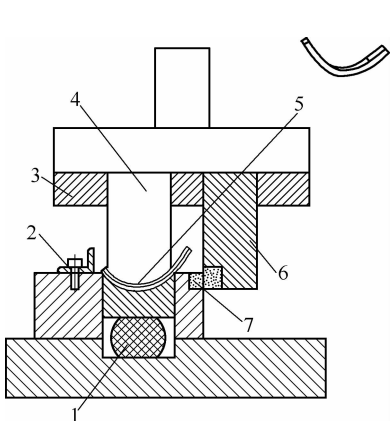


图 3-32 小型方条切断弯曲模
1—橡胶弹性体 2—可调定位 3—凸模固定板
4—凸模 5—工件 6—上剪刀 7—下剪刀

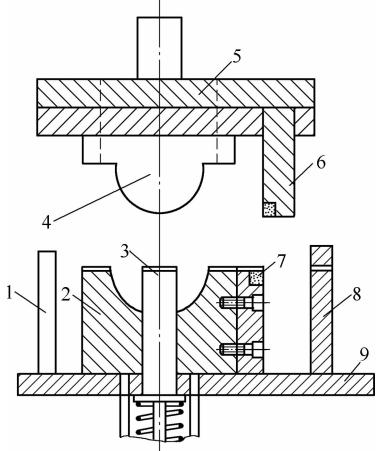


图 3-33 带导料孔的线材切断弯曲模
1—定位 2—凹模 3—顶底 4—凸模 5—上模座
6—上剪刀 7—下剪刀 8—导料板 9—底座

8. 双曲面提锅把条料成形模

图 3-34 所示为双曲面提锅把弯曲成形模。凹模由相互交会的两条圆弧组成。当凸模下行时，工件两侧在压力作用下，顺着凹模上各自的圆弧面向前卷曲成形。其工艺路线：纵剪分条→切断→折弯→成形。

9. 标牌弯曲模

杯类等小直径工件上的产品标牌，有正方形、菱形、椭圆形、三角形等；标牌的一个基本要求是与本体的曲面吻合，如图 3-35 所示。

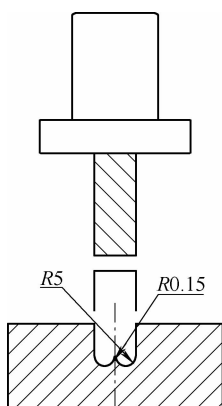


图 3-34 双曲面提锅把成形模

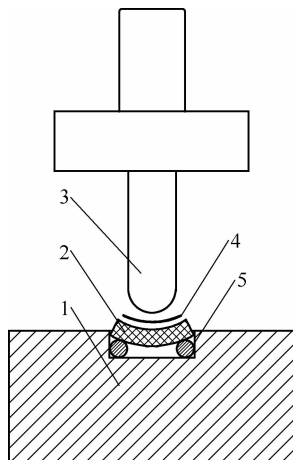


图 3-35 橡胶弹性体标牌弯曲模

1—橡胶容腔 2—橡胶弹性体
3—凸模 4—工件 5—圆条

菱形或椭圆形标牌坯料如果采用平板料冲裁后再行弯曲，会因为圆弧上的曲率不一致，很难得到与本体吻合的成品。如果采用整片板料先行弯曲（滚弯或卷圆）到与配套产品曲率一致，然后冲裁，则所得成品会大为改观。

如果坯料是从边角料上通过落料来获取的平片，采用硬模弯曲，则凸模弧面半径应比本体半径小。

另外可考虑采用聚氨酯弯曲模。聚氨酯弯曲模只有凸模需要机械加工，凹模是由橡胶板和容框组成。它的优点是会造成工件的机械损伤，而且调整方便。

在聚氨酯弯曲模中，调整工件曲率的方法如下：

- 1) 更改橡胶弹性体背后圆条直径。
- 2) 更改橡胶弹性体厚度。
- 3) 修整凸模。

如果本体为旋转体拉深件，直径 160mm 以上，就可考虑在小型卷板机上采用滚弯的方式完成，以节省模具投资。

10. 薄板件简易弯曲模

薄板件弯曲成弧形时，真正意义上的回弹数据并不能直接计算出来，而是要通过多

次的试验与修正才能得到满意的产品。如果每一次都制作正式的模具，无疑地，会增大模具制造成本、延长试模时间；所以在模具试验阶段，可以用简易模具来代替正式模具。

简易模具的优点是，更改工件的曲率方便。当工件的弧度需要更改时，可将工作面与肋板间的焊点磨开，重新打磨肋板；焊接后开始新一轮试冲。

如果批量不大或者产品要求的精度不高，简易模具可以直接完成生产任务；也可以对试验模具进行加固或增强，以适应较大批量的生产。

如果产品质量要求高且批量大，在试冲取得确切的数据后，再用较高的技术手段来加工精密的模具。

简易模具的筋板厚度一般取 8 ~ 12mm，成形面厚度取 ≥ 5 倍材料厚度，但绝对值不少于 2.5mm，如图 3-36 所示。

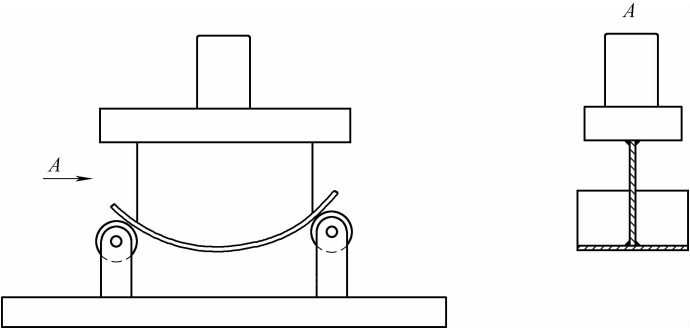


图 3-36 简易弯曲模（薄肋板）

利用市售成形料（正方形条料或键料长料）代替折弯模具的角位，将角位以外的部分采用板材连接或直接作空置处理，与实体模具相比，可以节约大量材料，减少资金投入，同时也减少了金属切削加工量，缩短了工期。图 3-37 所示为采用 40mm × 22mm 键料作为角位和厚度 16mm 的 Q235 钢作肋板的弯曲模。

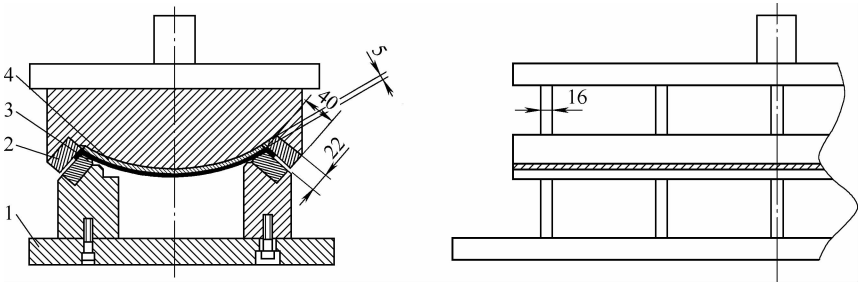


图 3-37 型钢拼焊简易弯曲模

1—下模座 2—市售成形料 3—制件 4—工作面贴板

11. 货架沟槽横条弯曲模

某款超市货架沟槽横条产品尺寸如图 3-38 所示。其弯曲模如图 3-39 所示，退料销

1 兼有压料的作用，可以防止材料滑动。凸模 5 在材料成形后将工件顶出，保证脱料顺利实行。

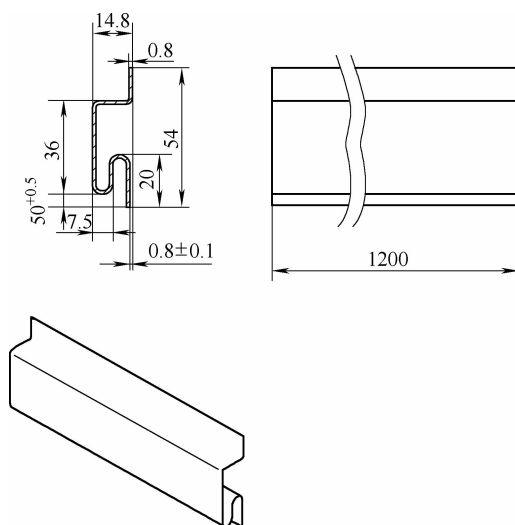


图 3-38 货架沟槽横条

折弯模采用市售键料和线切割肋板拼合而成。采用简易制作的好处是加工时的精度由线切割编程来保证，不需要特别熟练的机加工人员和大型金属切削设备。整套模具制作快捷方便，可节省大量的人力物力。

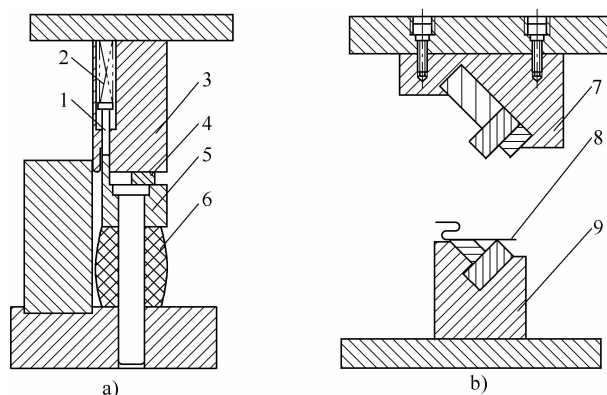


图 3-39 货架沟槽横条弯曲模

a) 弯曲模 b) 折弯模

1—退料销 2—弹簧 3—凸凹模 4—限位块 5—凸模 6—弹性体

7—上肋板 8—坯料 9—下肋板

12. 切角折边复合模

图 3-40 所示为深度较浅的盒形件复合成形模，属于倒装式结构。上模下行时，凹模 3 的刃口部分先与凸模 5 接触，将板料四角剪除。随后，凹模长边的圆角与成形凸模

4 共同作用，对板料进行折边。上模上行时，由弹性体 1 通过退料板 2 将成形后的工件从凹模 3 中推出。

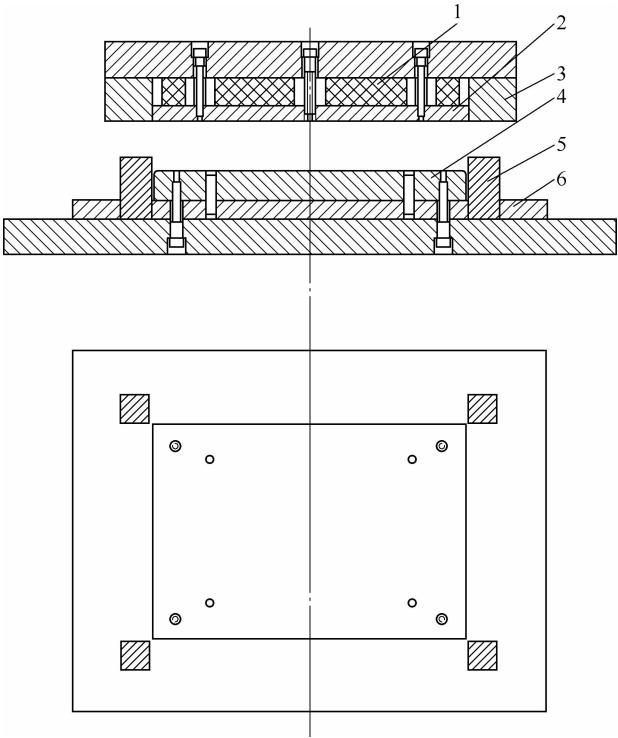


图 3-40 切角折边复合模

1—橡胶弹性体 2—退料板 3—凹模 4—成形凸模 5—凸模 6—凸模固定板

13. 薄板折弯件弯圆

图 3-41 所示为某款火炉围板，材料厚度为 0.8mm，折边宽度为 8mm，弯曲后弦高为 113mm。展开料全长为 615mm，折边后宽为 260mm，中间部分为镂空装饰花纹。

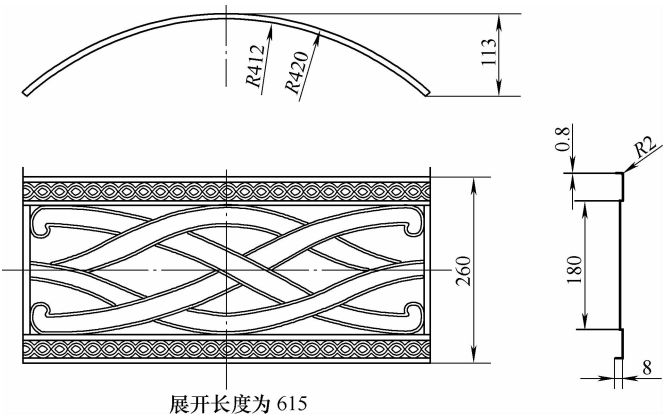


图 3-41 火炉围板

图 3-42 所示为其手动弯曲成形模。将坯料插入滚轮 10 与幅板 3 的缝隙中, 压下快动夹具 6 将其固定。扳动手柄 8 向下运动, 工件即在滚轮 10 的夹持下成形。取下工件, 支架 9 即在弹簧 4 的作用下自动复位。

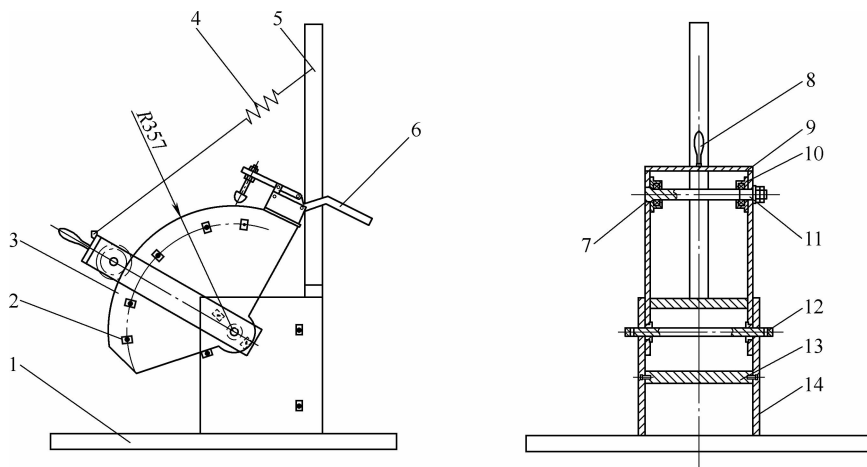


图 3-42 薄板折弯件手动弯曲成形模

- 1—底座 2—矩形撑档 3—幅板 4—弹簧 5—企柱 6—快动夹具 7—紧定螺钉
8—手柄 9—支架 10—滚轮 11—上轴及垫圈、螺母 12—下通轴
13—机座撑档 14—机座墙板

制作过程中, 对两滚轮之间的距离进行精确控制。整机调整时, 只需对紧定螺纹 7 给予微调, 即可得到满意的效果。幅板与机座撑档要求齐长, 可用线切割或平磨的方法加工。

全部工艺路线为: 板料剪切→冲孔→压花+折边→弯曲成形。

工作可靠、操作轻松、效率高, 每分钟可生产 10 件。这一款模具巧妙地避开了大尺寸薄板件需要大工作台压力机成形的问题。

14. 圆角矩形角位包边模

高尔夫球场用冰桶盖属于圆角矩形, 材料厚度为 0.5mm, 成 90°折边, 宽度为 3mm。这种产品的圆角包边有一定的代表性。坯件经拉深、切边。模具悬空伸出压力机工作台。坯件的圆角在凸模的作用下弯折成形, 之后再用钩头弯曲模将直边折弯, 如图 3-43 所示。

15. 圆棒件弯曲模

圆棒件弯曲模的凸模和凹模的工作部分相应开有仿形圆槽, 以防止压弯时圆棒坯料的窜动。为了减少弯曲过程圆棒坯料和凹模圆角处的相对摩擦, 提高凹模使用寿命, 两侧凹模做成滚轮式。

这种结构也可以用于表面粗糙度值要求低的材料弯曲。将滚轮改为滚柱, 取消凸模工作面上的凹槽。作业时, 滚柱将凹模圆角处的静摩擦转变成滚动摩擦, 消除了板料的拉伤。

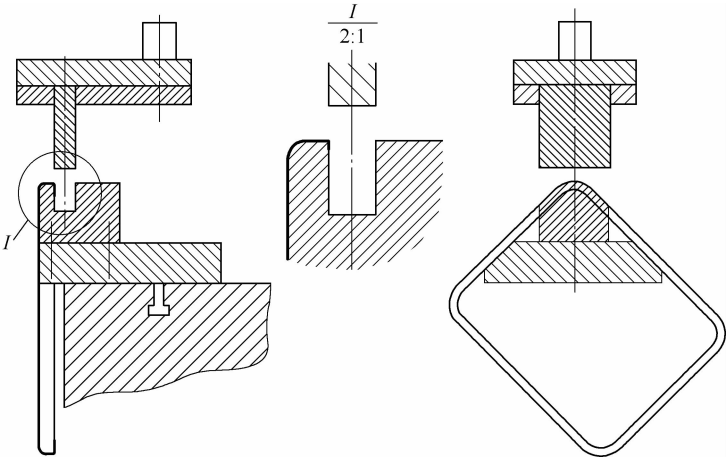


图 3-43 高尔夫冰桶盖包边模

3.7.2 闭环形工件弯曲模

所谓闭环形工件，是指工件成形后内轮廓线接近闭合状态，或内轮廓线虽不封闭但凸模不足以承载弯曲力的一类工件。

在生产生活中，闭环形工件弯曲模根据产品的不同要求而具有多种类型。

1. 筒形件卷圆模

弯制筒形件的方法有多种，具体运用需要根据筒形件直径大小和材料厚度来决定。筒形件或圆管件通常从前端轴向出料；凸模前端可以设置一活动支承，增强凸模的支撑力。下面介绍几种典型方法。

1) 先将平坯弯成波浪形，然后再弯制成圆管，如图 3-44 所示。

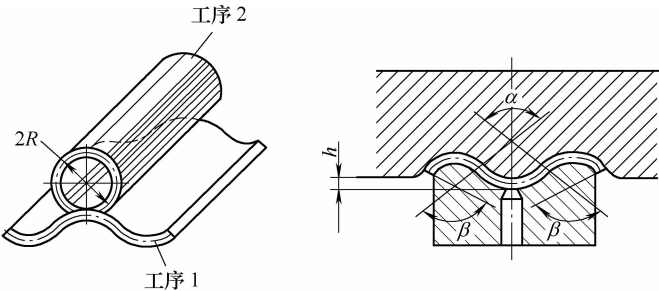
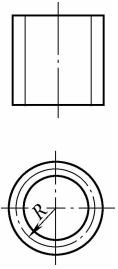
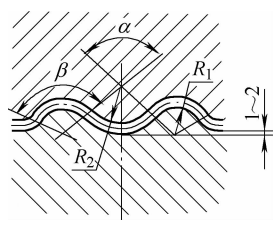


图 3-44 筒形件预弯与成形

为了克服弯曲起始位置的直段，增进成形后的圆度，常将波浪两端的 R 值较图样要求取小一些，而将中间的波浪 R 值取大一些。取小和取大的 R 值将在二次弯曲时在变形力和回弹的作用下得到自行纠正，使坯料能很好地抱合在凸模上。

圆管件的预弯模参数见表 3-10。

表 3-10 圆管件预弯模参数

圆管件图形	模具工作部分	R_1	R_2	中心角/(°)	
				α	β
		R	$1.5R$	100	105
		$0.9R$	$1.4R$	108	120
		$0.85R$	$1.3R$	114	130
		$0.8R$	$1.2R$	120	140

注：半径 R 、 R_1 和 R_2 按材料厚度中心线计算。

夹箍件也可采用类似工艺（见图 3-45）。如图 3-45b 所示的预弯工序件，两端水平。预弯前端部可以有冲孔、切料等工序，模具结构较简单。这种预弯件的缺点是当 $R_1 = R$ 时， h 不一定为正值。如果 h 变为负值，预弯时平坯不能在中部先与凸模接触，而是两端材料先被压住，不利于变形。采用图 3-45c 所示的预弯件，可以避免上述缺点。但这样的预弯模，在 a/R 大时，凹模两端高翘，坯料安放时需采用活动定位。

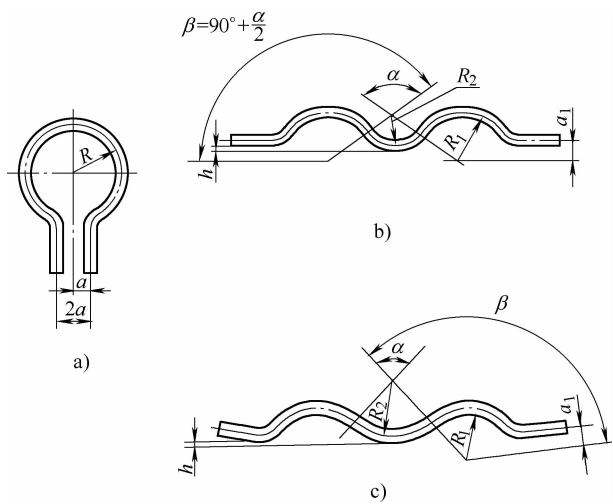


图 3-45 夹箍件的弯曲
a) 夹箍工件 b)、c) 第一道工序的工序件

2) 先弯制平坯两端再卷制成形。这种方法最早是用于手工卷圆。当用于筒形件弯制模具时，与波浪形弯曲模相同的是，平坯两端的 R 值也要取小一些，其目的与功效

与前述一致，如图 3-46 所示。

3) 先将平坯弯成 U 形，然后再利用弧形上模弯制两侧，如图 3-47 所示。

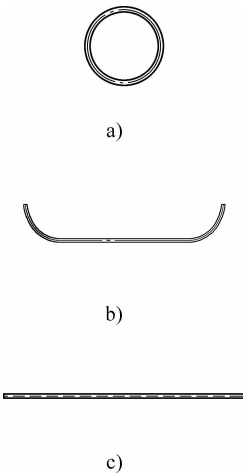


图 3-46 筒形件弯制工序
a) 弯圆 b) 预弯 c) 坯料

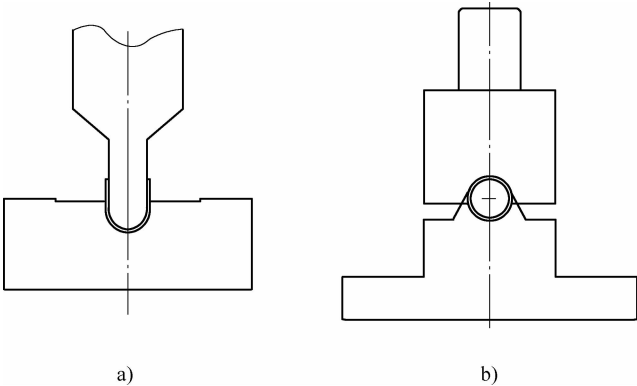


图 3-47 小圆二次弯曲模
a) 预弯 b) 卷圆

4) 采用转动顶底弯圆模，可以将平坯直接成形，如图 3-48 所示。

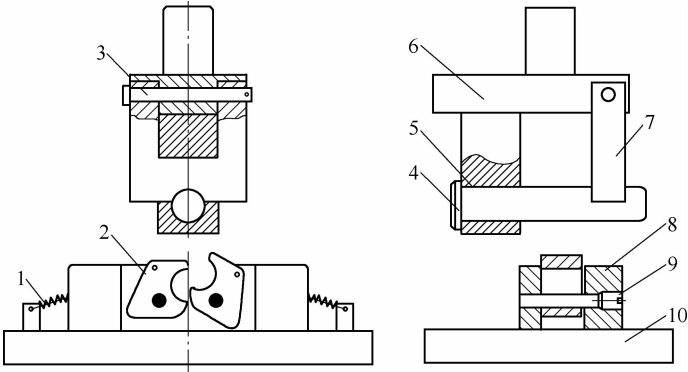


图 3-48 转动顶底弯圆模
1—弹簧 2—凹模 3—转轴 4—凸模 5—支承臂 6—上模座
7—活动支承 8—凹模框 9—凹模转轴 10—底座

四种方法的运用需要根据筒形件直径大小和材料厚度来确定。第一和第二种方法常用来弯曲直径较大的产品或用于屈服强度较大的材料的弯制，第三和第四种方法常用于小型工件。

第一和第四种方法有一个共同点：具有强力的悬臂来支撑凸模。为了加强悬臂的支

撑力度，第四种方法还增加了一块活动支承。出料时支承块向上翻转。

第一和第四种方法只适用于中轴线是直线的工件、第二和三种方法除了适合中轴线是直线的工件以外，还可适用于锥形件和中心轴线是曲线的工件。在不锈钢制品生产中，用来成形鹤颈形壶嘴、弯头等产品。

2. 矩形管件折弯模

图 3-49 所示为某款摩托车后叉摇架，由对称的两侧弯合而成。支承臂 5 对称布置在上模两边，凸模 6 通过支承臂 5 上的矩形孔，其间隙采用间隙配合 $\left(\frac{\text{H}8}{\text{g}7}\right)$ 。

工件弯曲完成后，将凸模从支承臂中抽出以方便脱模。

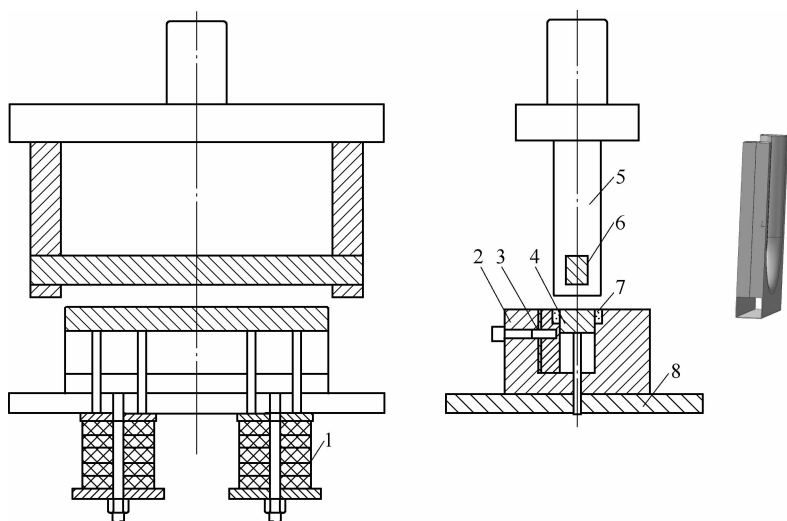


图 3-49 摩托车后叉摇架弯曲模

1—弹顶装置 2—凹模衬体 3—间隙调整材料 4—活动凹模
5—支承臂 6—活动凸模 7—硬质合金 8—下模座

3. 轴对称非标曲线件弯曲模

这类工件往往需要借助斜楔机构来对工件两侧来施加侧向压力，图 3-50 所示为电器刀开关铜件弯曲模。

坯料是放在凹模 9 上的定位槽 4 中的。上模下行时，凸模 5 首先接触坯料。在顶底 11 的导向作用下，凸模先将坯料弯曲成 U 形，凸模继续下行，斜楔 7 推动滑块向里运动，令工件凸嘴位成形；上模回程时，首先解除滑块的压力，工件在弹顶机构 2 和复位弹簧与销 3 的双重作用下被推出模外，由手工作轴向脱料。

型芯和悬臂早是由整块材料加工为一体的，当今的技术条件下可以采用线切割来镶嵌、铆合。凹模分作本体和侧盖两部分来加工，可以简化加工手续并可以提高滑块运动精度。

4. 盒形件再折弯模

图 3-51 所示为盒形件折边再折弯模。凹模做成悬臂式，利用悬臂下的空间退料。这种结构形式适合于批量不大和直边精度不高的产品。

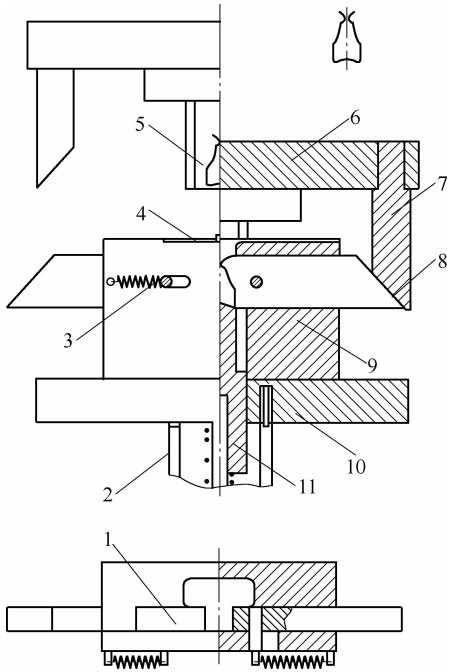


图 3-50 刀开关铜件弯曲模

- 1—坯件定位 2—弹顶机构 3—复位弹簧与销
4—定位槽 5—支承臂+凸模 6—上模座
7—斜楔 8—滑块 9—凹模
10—下模座 11—顶底

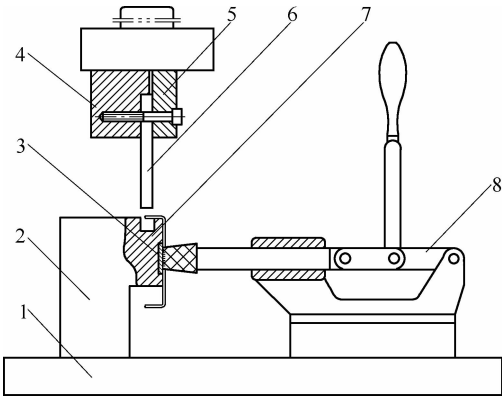


图 3-51 折边再折弯模

- 1—模座 2—凹模 3—磁铁 4—凸模
夹持座 5—凸模压块 6—凸模
7—坯件 8—快动夹具

5. 自动脱料弯圆模

图 3-52 所示为铜线接头弯圆模，其特点是能实现自动脱料。上模在下行过程中逐步对坯料实行弯曲成形；当上模上行时，滚轮 9 受到来自斜板 8 的压力，克服了弹簧 10 的弹力，脱料支架 11 向前运动，将已成形的工件从凸模 5 上脱出。

6. 铰链卷圆模

铰链卷圆模如图 3-53 所示。铰链模的模具结构较一般弯曲模有特殊性，其关键在于接近边缘的 $75^{\circ} \sim 80^{\circ}$ 不易成形，需要将凹模的中心向凸模方向偏移 L ，促使局部挤压成形。需要说明的是在非对称的预弯工序中，弯曲所产生的水平分力不能平衡，坯料端头必须深入凹模，凸模受力的对应面应在有导向的前提下与凹模扣合。

与滚轮卷边模相似，卷圆模的最佳半径与材料厚度的比值为 $2.5 \sim 5$ 。小于这个比值，卷圆时抗力增加，模具具有发热现象，工件表面粗糙度容易破坏；大于这个数值，则表现为失稳的概率增大。

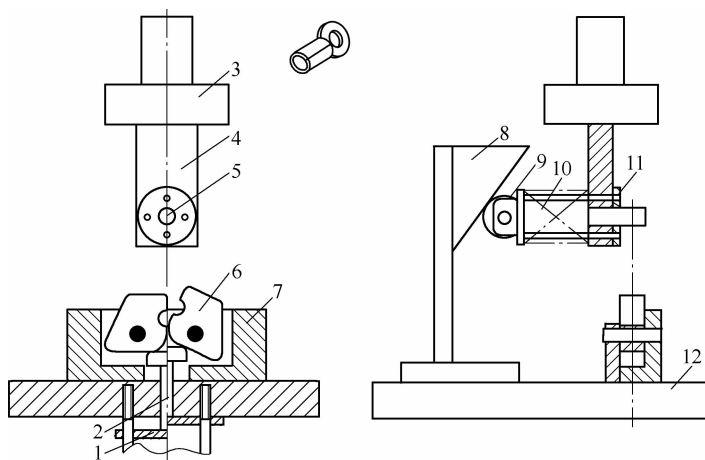


图 3-52 铜线接头自动脱料弯圆模

1—弹顶机构 2—顶底 3—上模座 4—支承臂 5—凸模 6—凹模
7—凹模框 8—斜板 9—滚轮 10—弹簧 11—脱料支架 12—底座

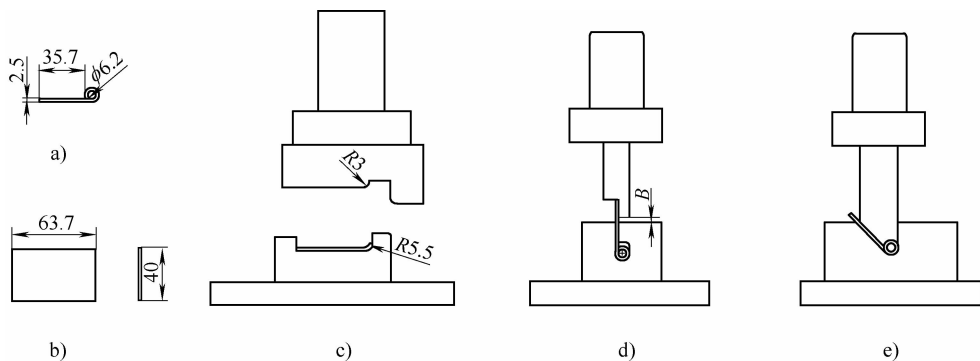


图 3-53 A 型铰链竖置式成形工序

a) 工件 b) 坯料 c) 预弯 d) 卷圆 e) 精整

3.7.3 扣缝模

扣缝折边宽度一般取为 $(5 \sim 10)t$ ，取 $7.5t$ 最好。扣缝模以单工序加工为多。下面介绍某款暖水瓶金属外壳复合扣缝模，是安装在悬臂式工作台压力机上操作的。

图 3-54 所示为折边扣缝复合模，能在同一模具内同时完成筒形件展开料两端折边，经手工对扣后，在同一副模具上将扣缝压实。

在图 3-54 中， $A-A$ 处是吊装螺栓安装位置， $B-B$ 处是橡胶弹性体安装位置。模具工作前，中模和下模是由倒装螺栓合拢的，由柱形橡胶弹性体的弹力保证入料间隙，如图 3-55 所示。

第一次操作时，将坯件团好，两边线与下模两侧抵紧。压力机起动后，上模下行，压迫中模，两侧边线同时完成折边。取出冲件，对好扣缝后重新放入中模与上模之间，

上模再次下行，完成扣缝压紧，如图 3-56 所示。

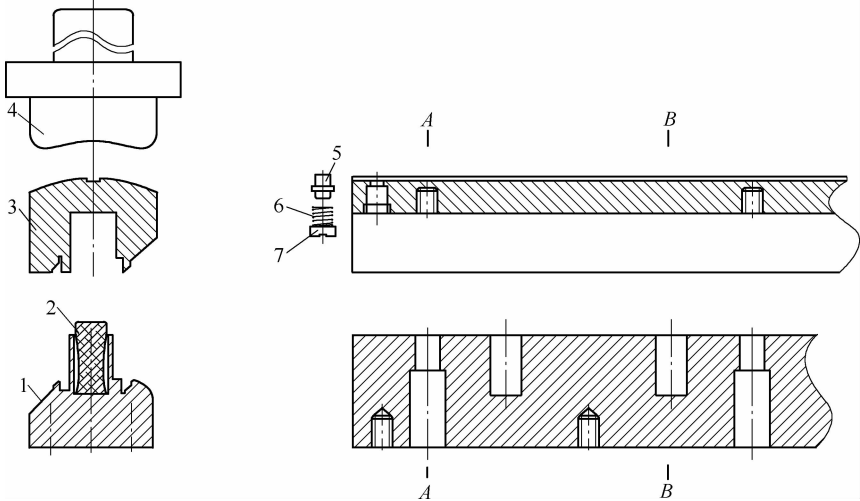


图 3-54 折边扣缝复合模

1—下模 2—橡胶弹性体 3—中模 4—上模 5—挡料销 6—弹簧 7—细牙螺塞

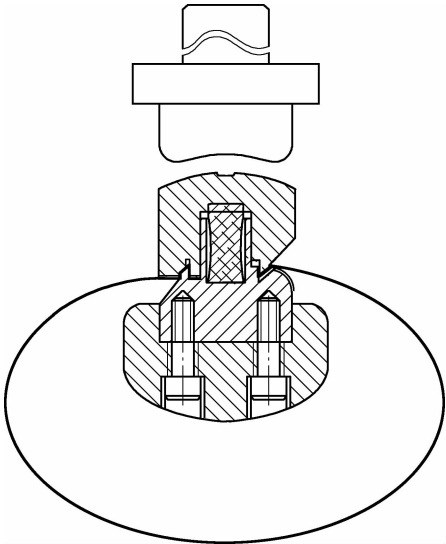


图 3-55 扣缝折边

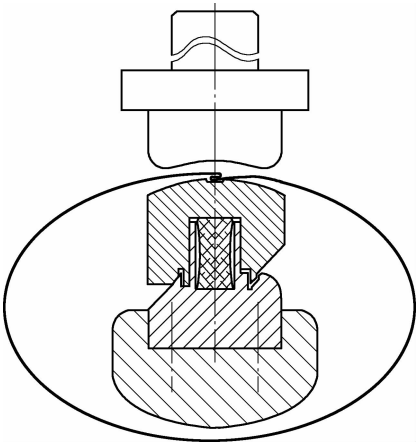


图 3-56 扣缝压合

中模背上的直槽中植入橡胶弹性体薄板（须留有扣缝材料叠合厚度），可消除加工中的积累误差，达到既压紧扣缝又使外观平滑的目的。

设计时，上模下曲面 R 要大于中模上曲面 r ，以防压伤坯料外观面。

悬臂式工作台压力机的设计初衷是为不锈钢水壶冲孔之类作业所用，扣缝模安装后，模具前端超出压力机滑块。针对这种情况，可制作一鼻梁形的撑板来加强模具前端出力。

3.7.4 薄板橡胶弹性体对辊弯曲

橡胶弹性体对辊卷筒机主要用于将薄板卷制成锥筒。其优点如下：

- 1) 可以极好地保护坯料的表面，这一点对于镜面不锈钢材料来说尤其重要。
- 2) 操作安全、工作可靠。
- 3) 与三辊卷筒机相比结构更简单。

橡胶弹性体对辊卷筒机主要工作部分由钢制的上辊轮和钢轴外包覆橡胶弹性体的下辊轮组成。下辊轮用向心轴承固定在机座上，上辊轮两端装有可调心轴承，安装在可以上下调整的导轨槽内。

改变上下辊轴线的交角，得到锥筒可在单边斜角为 7° 的范围以内调整。如果超出上述值，则应按图样需要重新设计上辊轮的锥角。

下辊的橡胶弹性体材料最小厚度应大于45mm，其邵氏硬度应控制在70~75范围以内，太软容易发热，太硬则不容易变形，消耗动力过多。

令薄板产生塑性变形的力来自于橡胶弹性体的弹性变形，所以加工的材料厚度有一定的局限性，通常用来加工的不锈钢板和10钢冷轧板，料厚为0.2~1.0mm，如图3-57和图3-58所示。

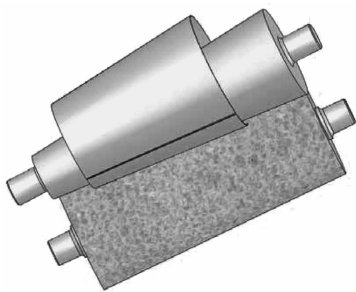


图 3-57 小斜角锥筒卷制

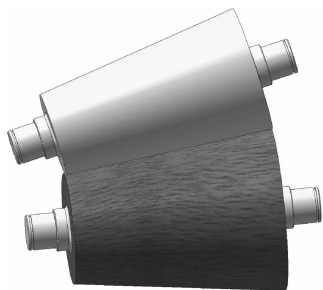


图 3-58 大斜角锥筒对辊

3.7.5 手工弯曲

1. 板料手工折弯

单件或少量的盒形件的成形，在条件有限的情况下，手工折弯仍是目前沿用的方法之一。

当材料厚度超过2mm时，仅靠人力是很难将材料折弯的，尤其是不能保证折弯线条的平直。

在工件向里的一面画好弯折线，用手提砂轮切割机打磨沟槽，宽度等于料厚，深度等于或略大于料厚的一半，然后手工直接折弯或在台虎钳上进行折弯，可得较为理想的角度折弯效果。

板面磨沟时，用边线为直线的角钢或板料作为靠模，更加准确、省时。

2. 圆环制作

实心或空心的小尺寸材料弯制圆环，可用一根圆棒作为芯棒，将材料环绕在芯棒上呈螺旋状；然后沿轴线切开，分作单个圆环，再将圆环的一边夹在台虎钳上，将另一边扳正即得。

3.7.6 冷绕弹簧回弹直径估算公式

冲压模具制作中，弹簧不但用量大，而且规格多。作为厂家不可能各种规格的弹簧都有储备，因此也可以先行购进几种不同线径的钢丝，应急时自行绕制。

冷绕弹簧的回弹直径估算公式为

$$D_1 = D + 2d_0 + 0.15d_{0s}$$

已知弹簧直径，求芯棒直径时，可将估算公式改写为

$$D = D_1 - (2d_0 + 0.15d_{0s})$$

式中 D_1 ——回弹后的弹簧直径（mm）；

D ——芯棒直径（mm）；

d_0 ——钢丝直径（mm）；

d_{0s} ——弹簧横断面面积折算直径（mm）。

如果弹簧尺寸精度要求较高，可在第一次试绕的基础上对芯棒进行修正，一般经过两次修正即可达到目的。

该公式同时适用于铁铬铝电炉丝绕制弹簧。

例：某型弹簧，采用线径 3mm 钢丝，要求成形外径 (29.7 ± 0.2) mm，计算芯棒直径 D 。

$$D = 29.7\text{mm} - (2 \times 3\text{mm}) - 0.15 \left(\frac{3^2}{4} \pi \right) \text{mm} = 22.64\text{mm}$$

整理得 $D = 22^{+0.5}_0 \text{mm}$

然后根据实际需要在公差中选取。

3.7.7 弯曲件典型工艺

1. 弯折成形工艺

平板料经落料后，配合一次或多次弯曲，最后进行弯折成形。替代压铸件，其效益是拉深和胀形很难达到的。这种成形方式在小尺寸工件加工中有十分明显的经济效益优势。

1) 图 3-59 所示为某方管饰套与成形工序。材料经落料与左视面成形后，四面体中间的连接部分仅为 4mm，其整体成形是由手工来完成并对正的，不需要模具与辅助工具。

2) 图 3-60 所示为某款金属椅腿五方管围箍，起装饰和连接横档的作用。原件为整体铸钢件，几经改进，最后决定试做低碳钢冲压件，分成上下两片制作，成功后成本下降了 85%，如图 3-61 ~ 图 3-63 所示。

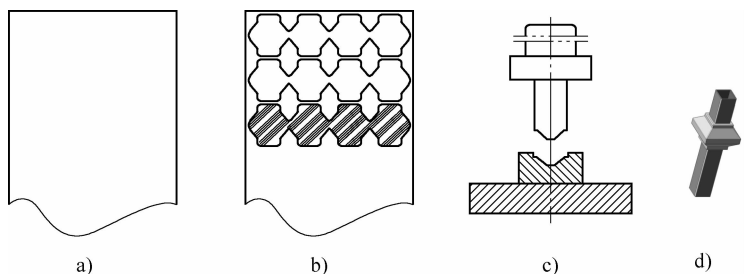


图 3-59 某方管饰套落料与折边

a) 板料 b) 落料 c) 折边 d) 方管饰套 (中间为方管)

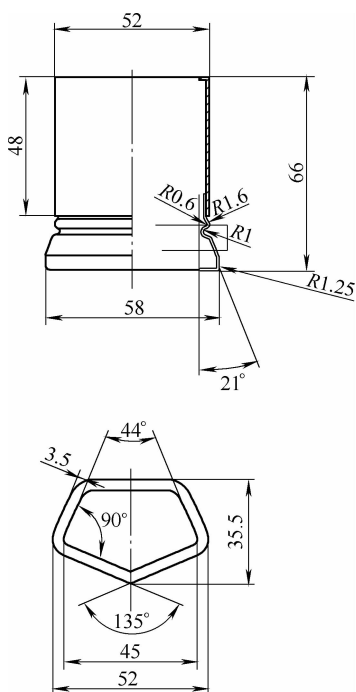


图 3-60 某款金属椅腿五方管围箍

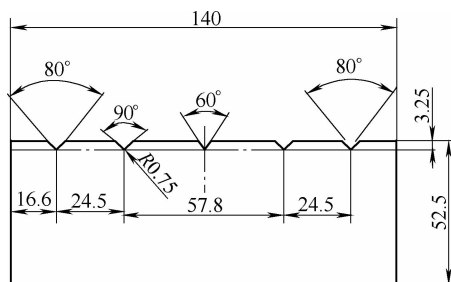


图 3-61 上片展开 (未注圆角全部为 $R0.75\text{mm}$, 料厚为 1.0mm)

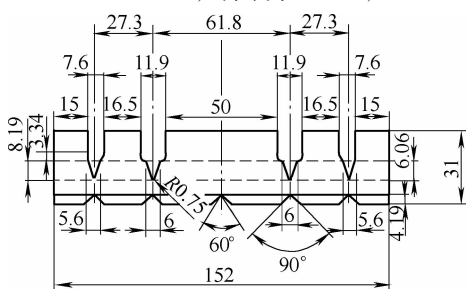


图 3-62 下片展开 (未注圆角全部为 $R0.75\text{mm}$, 料厚为 1.0mm)

2. 棱台体加工工艺

(1) 棱台体开模方式选择 棱台体的生产有三种方式: ①拉深成形+切边; ②切角模+成形; ③切头模+压型、折边。

棱台体因为棱角的原因，拉深成形非常困难。究竟采用何种方式开模更为快捷、经济，要看产品的批量和工件的成形尺寸。因为工件尺寸越大，成形模具的尺寸也越大，加工难度和开模费用也会提高。相应地，生产中所使用的压力机床的吨位也就随着提高，生产成本也会大幅度提升。

另一方面需要着重考虑的因素是棱台底层的高度和圆角 R 半径的大小, 拉深所能

成形的棱台的高度只与材料厚度和圆角半径 R 发生关系，而与棱边的长度并无直接关系。

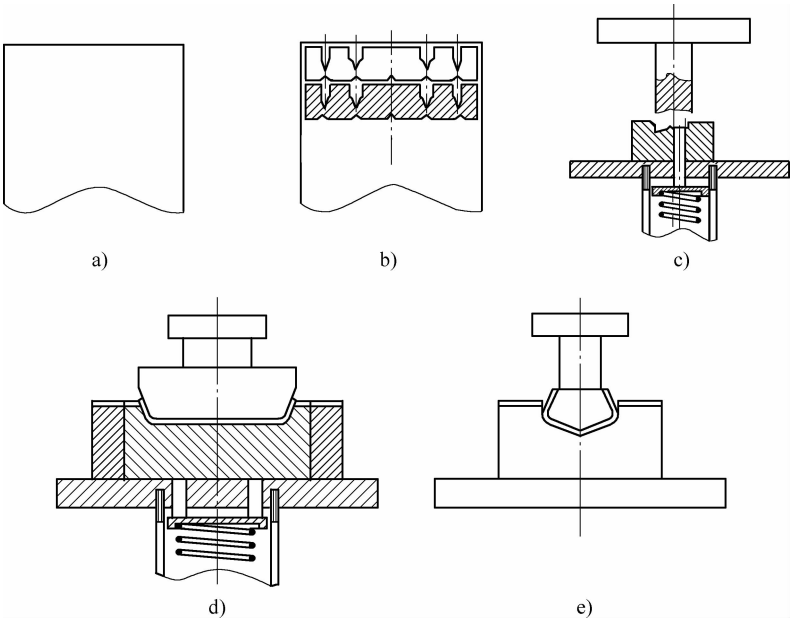


图 3-63 五方管围箍成形

a) 开料 b) 落料 c) 装饰线压制 d) 弯折1 e) 弯折2

通常的做法是将工件按边长大小分成几个档次。

1) 边长小于 100mm、竖边高度小于 $14t$ ，相对圆角半径 r/t 大于 4、相对料厚 t/B 大于 0.015 的工件，可以直接拉深成形。图 3-64 所示为小型饰套，其工艺路线：落料→拉深小正方形→拉深斜面和台阶→剪边→冲孔，或落料拉深（至斜面）→再拉深（大台阶企边）→剪边→冲孔。

2) 当图样要求棱角分明，或边长大于 100mm 但小于 300mm 的棱台形工件，采用切除四角、整体压制折弯成形的方法。图 3-65 所示为切角折弯成形棱台体，其工艺路线：落料→成形→焊接。

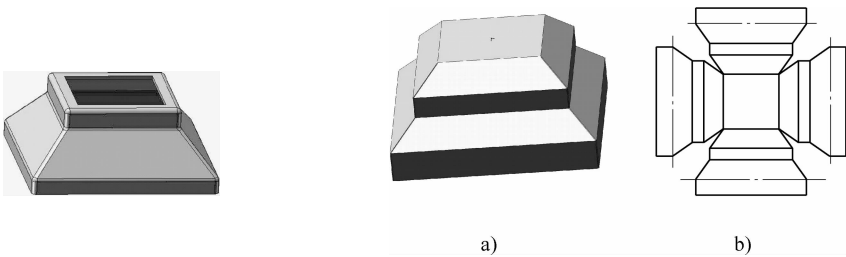


图 3-64 小型棱台体拉深件

图 3-65 切角折弯成形棱台体

a) 成品 b) 展开料

3) 边长 300mm 以上的棱台形工件, 一般根据边长分成若干块围片, 然后焊接而成。这是一种用中小机床和较少的场地来完成大型工件的有效方法; 其工艺路线: 计算展开料→板料分条→切头→大弧面滚弯→角面折弯或压型→焊接。

围片的大弧面通常不做专用的弯型模。这是因为薄板在作大 R 弯曲时, 其回弹的具体数值很难确定。利用三辊滚圆机则可根据弯曲效果随时予以调整。而角面折弯可在通用折弯机上完成, 如果需要压型, 模具也比较简单。

相对于整体式成形模而言, 分片操作可节省大量费用, 且模具成功率更高。分片焊接成形棱台体如图 3-66 所示。

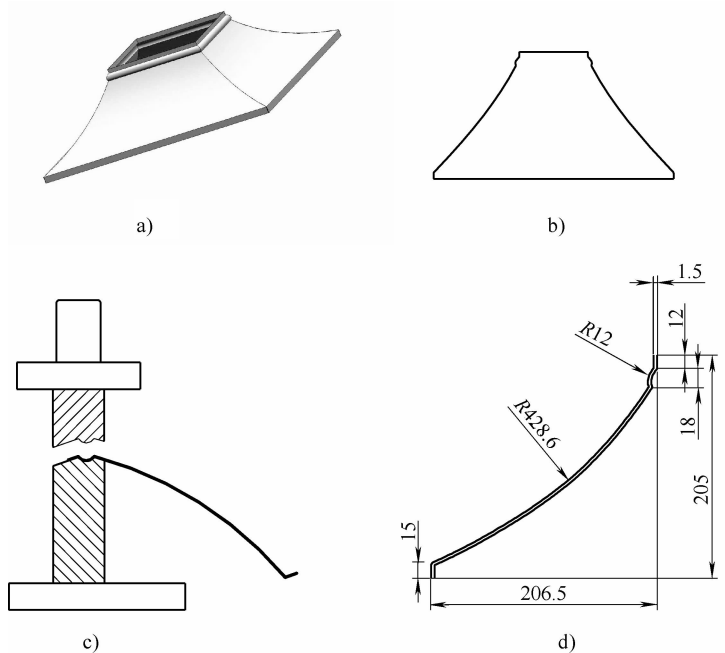


图 3-66 分片焊接成形棱台体

a) 成品 b) 展开料 c) 压型 d) 1/4 片料

(2) 三维展开图的修整 拼焊棱台体加工的第一步是放样, 在三维制图基本普及的今天, 多数企业都采用三维展开图来放样。

从三维软件得到的棱台体展开图, 在用于落料模或切头模之前应予以修整, 以适合成形后拼合及焊接工艺的需要。

1) 从弯曲件的工艺性我们知道, 中性层以内的材料, 弯曲时处于压应力状态。当材料边缘处于自由状态时, 受压后的材料在挤压力的作用下向剪口方向流动, 形成凸起。这种凸起将导致接缝不能严密拼合, 影响焊接效果。所以, 应将折弯转角处的材料作少量挖除, 一般情况下, 采用圆弧 $R=t$, 如图 3-67 中的 A 处。

2) 三维软件能从工件的接合位置得到很精确的、与材料大平面成 45° 的分切线, 而通过冲裁或剪切得到材料的剪口与大平面只能是 90° 角。所以凡是工件竖直边所在的

位置，其边线应向里缩进 0.72 倍的料厚，才不至于在拼合时发生干涉，如图 3-67 中的 B 处。

3) 从三维软件得到的展开图，如果在母图上的合缝处有螺孔之类的元素，则在分片后会产生尖角，这些部位宜用适当的 R 倒圆，以保证冲裁模具的寿命，如图 3-67 中的 C 处。图 3-67 所示为某型火炉围片展开料端头，材料厚度 0.8mm。

(3) 拼块式棱台形工件成形 棱台形工件成形凸模可用刨、铣或线切割方法加工，但凹模加工受到两垂直边的相互干涉，如果设计成整体式，则需要用数控铣来完成。

将凹模侧壁分成四块各自加工，拼合后用低碳钢套箍紧，可以简化模具结构，节省模具加工费用，如图 3-68 所示。

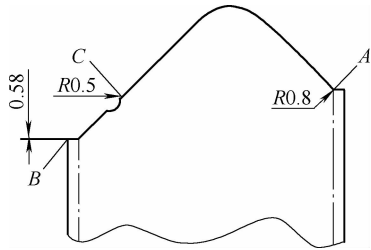


图 3-67 三维展开图的修整

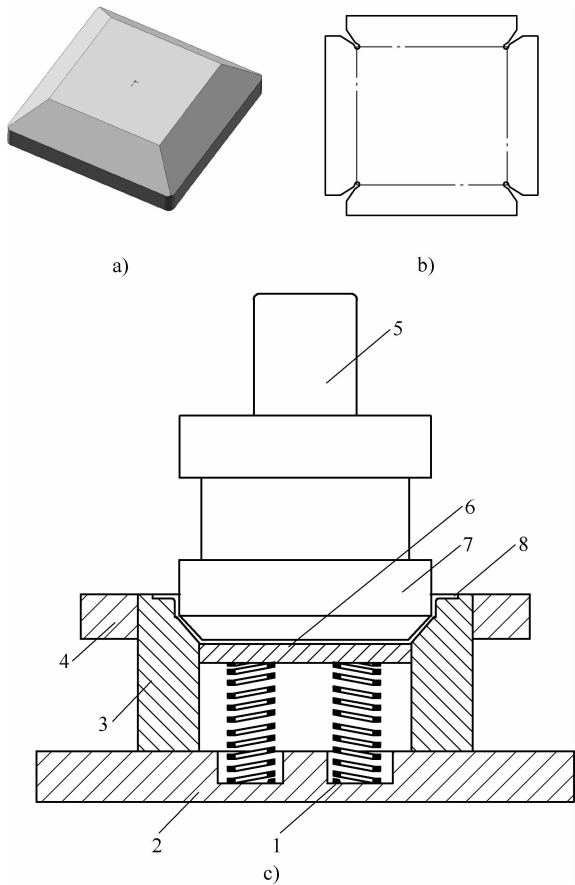


图 3-68 拼块式棱台形工件成形

a) 工件成品 b) 展开料 c) 折弯成形模

1—模座 2—弹簧 3—分块式凹模侧壁 4—框形方板 5—模柄 6—顶板 7—凸模 8—定位止口

(4) 正方形空腹件成形工艺 正方形空腹件虽然无棱台，但在产品分类上也应归入棱台形工件类，因为它与后者的加工工艺完全一致，只是弯曲模的结构上略有区别。

这种弯曲模结构的优点：将凹模中的若干小段用线切割分离出来作为顶料块，有利于增加凹模强度。

正方形空腹件成形如图 3-69 所示，其工艺路线：材料分条或剪板→切头→弯制两侧直角→弯曲模成形→焊接。

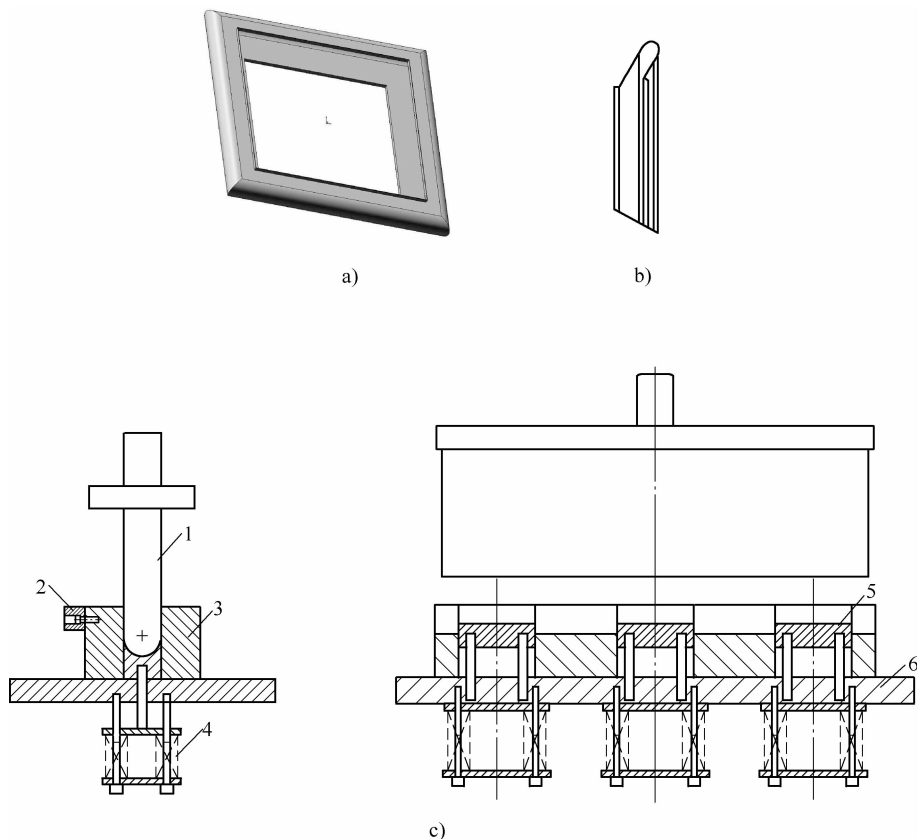


图 3-69 正方形空腹件成形

a) 工件成品 b) 1/4 围片 c) 弯曲模

1—凸模 2—定位 3—凹模 4—弹顶机构 5—顶料块 6—下模座

3. 压印折弯工艺

压印折弯用于四面或六面体的成形，以规避最后一次成形时凸模不能退出的困难。压印的目的，在于使折边线的位置材料减薄，减少弯曲抗力。图 3-70 所示为某产品立柱三方围箍，其成形工艺如图 3-71 所示。

4. 有缝钢管成形工艺

有缝钢管的加工是逐步弯曲的过程。通过一系列辗压轮、挤压轮将平板钢带约束成圆形，然后再进行高频焊接。有缝钢管是低压流体输送管道和建筑、装饰、金属家具用材的主要来源。

有缝钢管可连续生产，生产线一般长达几十米，用于装饰材料的不锈钢管生产线甚至于长达 100m。成形段装有多对垂直辗压轮和水平辗压轮，管材焊接后，经过剃刀将焊接瘤剃平，再次通过垂直和水平方向的多对滚压轮整圆，通过硬质合金模作最后的整形，保证钢管的圆度。

根据材料厚度和管材直径的不同，所选用的滚轮也不同；一般来说，垂直辗压轮通常为 5~8 对，用于将平板带料弯曲成对称的渐开线，水平辗压轮用于将渐开线远端收束成圆形。整形滚轮通常为 1~3 组，以垂直和水平方向各一对为一组。

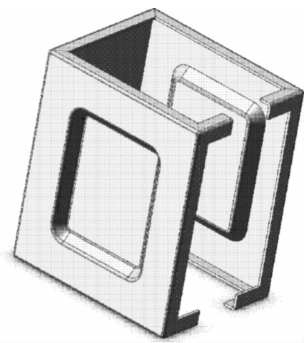


图 3-70 某产品立柱三方围箍

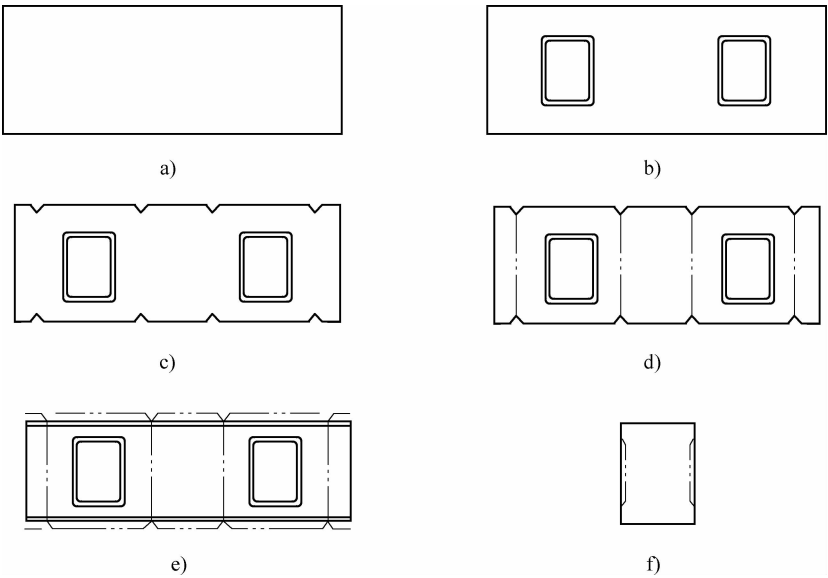


图 3-71 三方围箍成形工艺

a) 剪板开料 b) 压凹 c) 切边 d) 压印 e) 折边 f) 手工折合成形

管材通过硬质合金模后，有光亮度要求的需要在下道工序中抛光，毛面管材则直接进入定尺切割、打捆工序。

图 3-72 所示是内径为 $\phi 100\text{mm}$ 、壁厚为 3mm 的钢管生产线成形模具组图。

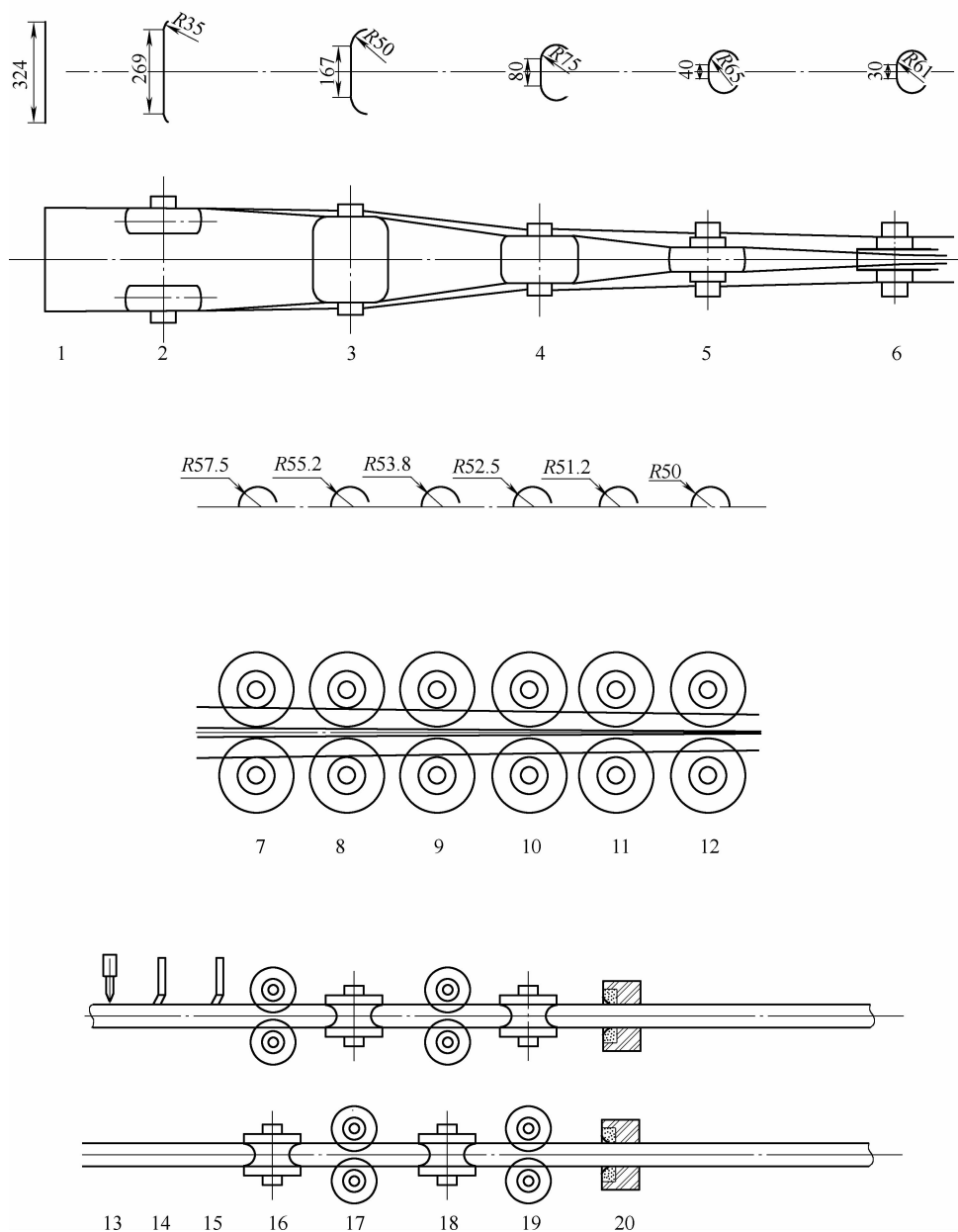


图 3-72 钢管生产线成形模具组图

1—板型带料 2~6—垂直压轮 7~12—水平压轮 13—焊枪
14、15—焊瘤剃刀 16~19—整形滚轮 20—硬质合金整形模

3.8 管材弯曲

管材弯曲工艺是随着造船、石油化工等行业的兴起而发展起来的。近年来在摩托车、自行车、金属家具等行业发展很快。

3.8.1 曲率与弯曲方式

1. 曲率

在管材弯曲中，将管材在弯曲方向上的宽度之半与弯曲半径之比称作曲率。

$$\lambda = \frac{B}{2R} \quad \text{或} \quad \lambda = \frac{D}{2R}$$

式中 D ——管材直径（mm）；
 B ——矩形管材在弯曲方向上的宽度（mm）。
可见， B 或 D 越大， R 越小，曲率越大

2. 弯曲方式

管材弯曲的方法按弯曲方式的不同可分为绕弯、推弯、压弯和滚弯；按弯曲时加热与否可分为冷弯和热弯；按弯曲时有无芯棒又可分为有芯弯管和无芯弯管。

3.8.2 管材弯曲表象和最小弯曲半径

管材弯曲时，变形区外侧材料受切向拉伸而伸长，内侧材料受到切向压缩而缩短。其主要的表象为，管材外侧材料由于伸长而变薄，而当伸长量超过了材料伸长率时，管材就会发生破裂。管材内侧由于受到压缩作用而产生剩余材料；如果剩余部分超出了材料自身的蠕合能力，则在弯管件内侧产生褶皱。因此，为保证弯管的成形质量，必须控制变形程度在许可的范围之内。管材弯曲和允许变形程度，称为弯曲变形极限。管材弯曲变形极限与材料力学性能、管件结构尺寸、壁厚和弯曲加工方法等因素有关。表 3-11 所列在壁厚与直径之比大于 0.1 的前提下，低碳钢的最小弯曲半径。

表 3-11 低碳钢管材最小弯曲半径 ($t/D \geq 0.1$)

弯 曲 方 法	最小弯曲半径	弯 曲 方 法	最小弯曲半径
绕弯	$(2 \sim 2.5) D$	压弯	$\geq 16D$
推弯	$(2.5 \sim 3) D$	滚弯	$12D$

3.8.3 薄壁管材弯曲模的选型

- 1) 曲率 (B/R) 大， t/B 在 0.2 以上的钢管弯制或弯头加工采用推弯方式。
- 2) 曲率 (B/R) 不大、弧心角不大的工件可考虑采用带顶底的压弯方式。通常压弯要求 $t/B > 0.1$ 。
- 3) 曲率 (B/R) 不大、弧心角大的工件可考虑在简式弯管机上弯制。简式弯管机的压料机构是附着于型芯模上的，弯曲半径不像液压弯管机那样，受转动臂长度的限制。

4) 弯曲半径 R 绝对值大, 但弧心角也大的工件可采用三辊弯曲机成形, 模具简单、通用性强。环形工件可采用一次性弯制多道环形圈, 然后分割成单个工件的作业方式。

5) 弯曲半径 R 绝对值在 350mm 以下的工件, 可以考虑采用绕弯方式, 在液压弯管机上进行。这是因为, 包括轮缘在内, 型芯轮最大直径 $\leq 800\text{mm}$, 一般的车床已能加工, 同时耗用的材料费也大幅度减少, 成本相应地降低。产品批量大, 设备加工能力强的条件下, 弯曲半径 R 可增大至 1000mm。现在国内已有多家厂商能生产弯曲半径 1000mm 的自动弯管机。

6) 矩形管材弯曲模设计中, $2.5 \leq R/B \leq 10$ 时, 除了采用绕弯方式外, 还要考虑其他辅助性手段, 如使型芯轮工作面起凸或向管材型腔内灌砂或其他填充物等。这是因为, 在大曲率弯曲中, 除了选用链式型芯之外的其他方法都不能保证管材变形后内、外径同时饱满, 而链式型芯的加工费用十分昂贵。

7) 在弯曲模选型时还应考虑到壁厚 t 与矩形管材在弯型方向上 B 的尺寸比例。比值大时成形方便, 比值小时成形会更加困难。

上述选型方式除了第二种之外, 均是基于 $t/B \geq 0.05$ 时才能成立的。图 3-73 所示, 左为型心轮起凸加灌黄沙后的弯曲效果, 右为未灌沙的弯曲效果。其弯曲条件: 矩形管尺寸为 $30\text{mm} \times 20\text{mm} \times 1\text{mm}$, 弯型方向上的宽度为 20mm, 弯形后管材中心线半径为 60mm, 黄沙含水量约 1.5%。



图 3-73 矩形管加灌黄沙前后的弯曲效果对比

3.8.4 矩形管材弯曲模型芯中凸高度的计算

1. 型芯轮中凸高度计算公式

矩形管材通常不会用作流体输导管, 大多数是用在建筑附属件的支撑结构上, 一般只需要外径和两侧面外观平整, 而内侧面的变形基本不作强调, 这就为外观面的防皱措施提供了空间。

正方形、矩形管材弯曲模型芯轮起凸是防止管材侧壁起皱的有效手段。通过长期实践和数据积累发现, 起凸的高度是可以计算的。其思路的主旨是, 将管材中线以内的压缩变形量转变为型芯起凸的高度。

文字表述: 中线以内的压缩变形系数乘以中线以内的变形宽度, 减去材料在自然条件 (自然条件指常温、无正负压力的状态下) 下的蠕合能力和比对值 (比对值指材料在无压边条件下材料厚度与变形直径的比值, 亦即材料的自蠕合能力), 所得的值乘以 2 倍, 即为管材受压边由直线改变为曲线所增加的长度。

管材弯曲不起皱的平衡条件是:

$$L = 2 \left[\left(\frac{R + \frac{B}{2}}{R} - 1 \right) \times \left(\frac{B}{2} - t \right) - \frac{2t}{B} \times 0.03 \right]$$
$$= 2 \left[\frac{B}{2R} \times \left(\frac{B}{2} - t \right) - \frac{2t}{B} \times 0.03 \right] > 0$$

式中 L ——压缩变形量 (mm);
 R ——弯曲半径 (mm);
 t ——管材壁厚 (mm);
 B ——管材弯曲方向宽度 (mm)。

如果计算所得大于0, 就有必要设置型芯起凸。

至此, 可将计算结果加到型芯轮工作线长度上, 令直线段变成弧线。如果所形成的弧太高, 影响到管材两侧壁成形, 则可将侧壁位左右各剔空 $(2 \sim 4) t$, 可得良好的效果 (见图 3-74c)。

通过计算我们知道, 材料自蠕合的值 $\left(\frac{2t}{B} \times 0.03 \right)$ 其实很小, 在相对厚度不大的情况下, 只需将计算结果作适当的舍入即可。

2. 型芯轮中凸形式

型芯轮起凸的截面图形可以是梯形 (见图 3-74a)、弧形 (见图 3-74b、c) 和中嵌半圆形 (见图 3-74d), 这三种形状, 依次适合于曲率由小到大的工件的弯制。

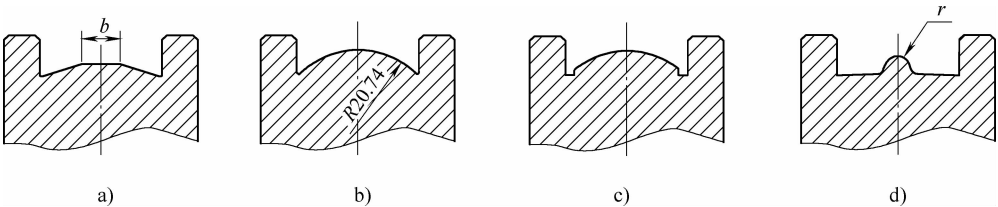


图 3-74 不同形式芯轮剖面图

在试制阶段, 利用现有的平底型芯轮, 粘 (焊) 上合适高度的钢带或合适直径的圆钢条试模, 提取数据后再对型芯轮进行改造, 可以取得事半功倍的效益。

这一计算方法适合于以外平面作为外观面的矩形管件, 将其应用扩展到圆管、六方管的绕弯和方形管滚弯加工, 具有同等的意义与实际效果, 如图 3-75 所示。

例: 某矩形管外形尺寸为 $20\text{mm} \times 30\text{mm}$, 壁厚为 1mm , 在宽度 20mm 的方向上弯制 $R = 50\text{mm}$, 加工后半成品如图 3-76 所示, 试计算型芯轮中凸高度。

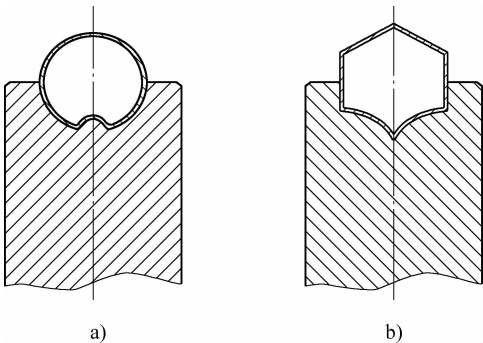


图 3-75 圆管、六方管型芯轮起凸

已知： $R = 50\text{mm}$ ， $B = 20\text{mm}$ ， $t = 1\text{mm}$ 。

将数据代入公式，得

$2 \times (0.2 \times 9 - 0.006)\text{mm} = 3.588\text{mm}$ ，弦高为 6.42mm ，如图 3-77 所示。

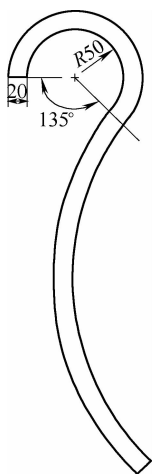


图 3-76 矩形管弯曲效果

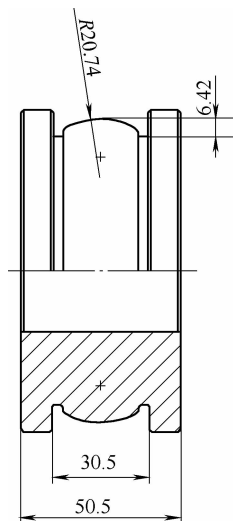


图 3-77 型芯轮起凸设计

当管材的相对弯曲半径过小时 ($B/R \leq 5$)，中线内侧产生的剩余材料太多，一条曲线不足以完全容纳，此时可采用二条曲线即所谓双肋法来加工型芯轮，如图 3-78 所示。

图 3-79 所示的成形条件：中肋铝合金管，料厚为 1.2mm ，宽为 50mm ，弯曲方向 $B = 25\text{mm}$ ；型芯轮工作直径为 100mm 。灌黄沙，黄沙含水量约 1.5% 。

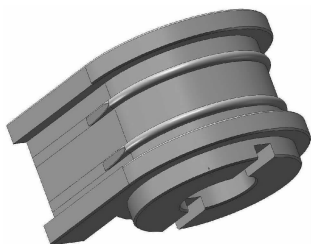


图 3-78 双肋型芯轮



图 3-79 双肋型芯弯管

3.8.5 回旋超过 360° 的绕弯

图 3-80 所示为某款火盆脚，材料为 $40 \times 8 \times 0.8$ 冷轧空心型管。因其成形模具做旋

转运动，故将其列入绕弯模具一类。材料经初次压弯后（图 3-81），在手动卷圆模中由凸轮式夹具 13 固定在模芯 5 的缝隙中，转动手柄 12 工件即被成形，如图 3-82 所示。

这款模具的优点在于成形角度可以大于 360°。

弯曲工艺：大弧滚弯（三辊弯曲机）→首道弯曲（机械压力机）→卷圆（手动）。

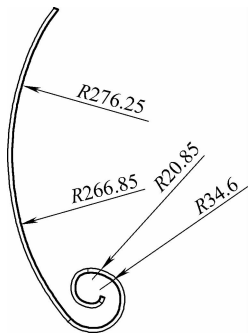


图 3-80 火盆脚

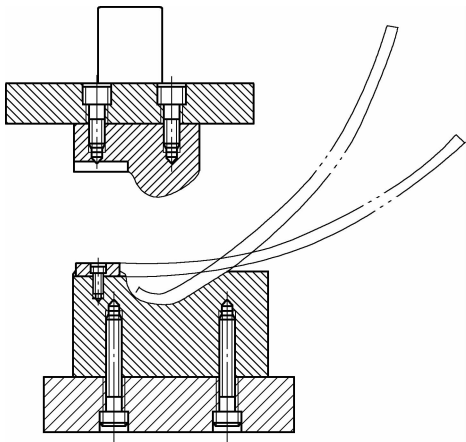


图 3-81 火盆脚首道压弯模

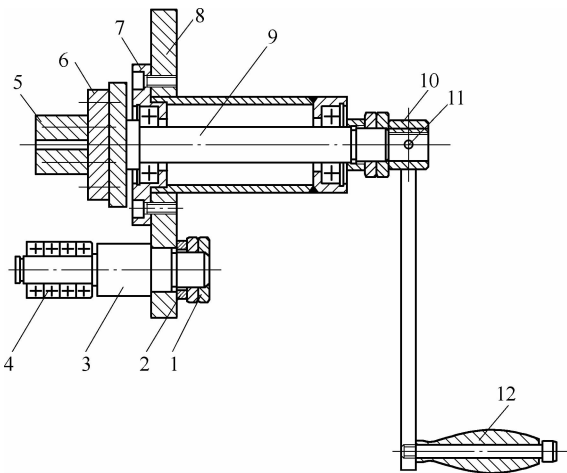


图 3-82 火盆脚次道绕弯模

- 1—螺母 2—垫圈 3—轴 4—轴承 5—模芯 6—模芯座 7—轴承套 8—立座
9—主轴 10—力臂套 11—销钉 12—手柄 13—凸轮夹具

第 4 章 拉 深

4.1 拉深基础知识

4.1.1 拉深在冲压生产中的用途

拉深是利用专用模具将平板材料制成开口的、有一定容积的敞口空心件的一种冲压工艺。空心件侧壁材料主要是从平板材料的流动来获取的，这是拉深工艺有别于拉延工艺的地方。

在本书中，将变形后曲面的材料主要由材料受拉变薄形成的，称为拉延（如汽车门板、顶棚之类），以此将拉深和拉延这两个长期混淆的概念区分开来。

拉深工艺可以制成筒形、阶梯形、锥形、方盒形和其他不规则形状的零件。这些零件，有的可以作为部件直接进行组装；有的作为坯件与其他工艺配合，通过再加工（如胀形、辗压等）成为形状更复杂的零件。在冲压生产中，拉深件的种类很多，根据其几何形状的特点、变形区的位置、变形性质以及变形时各部位的应力状态和分布规律不同，拉深件大致可分为以下几种不同类型：

- 1) 圆筒形直壁旋转体，如直壁筒形件、有凸缘筒形件和阶梯形件等。
- 2) 曲面旋转体，如半球形及锥形件等。
- 3) 直壁或斜壁盒形件。
- 4) 非旋转体复杂曲面形状工件，如椭圆形水槽、摩托车轮泥浆罩、汽车翼子板、发动机齿轮室盖、油底壳等。

总之，拉深成形工艺在交通运输、家用电器、航空航天、国防电器和电子等工业部门，占据相当重要的地位。在日用品行业中，这种从平面到有一定容积的加工工艺，是 100L 以下各种容器最主要的加工方法，是最基本的冲压加工手段之一。

4.1.2 变形过程受力分析

用拉深工艺制造的零件中，旋转体最为典型和常见。下面将以筒形件为代表，分析拉深变形过程中的材料受力和蠕变方向。

筒形件如图 4-1 所示，与冲裁模相比，拉深凸、凹模的工作部分不应有锋利的刃口，而应代之以数倍于材料厚度的圆角，凸、凹模的单边间隙大于料厚。随着凸模的下行，直径为 D 的毛坯板料被逐渐拉进凸、凹模之间的间隙里，形成圆筒件的直壁部分，而处于凸模下面的部分则成了拉深件的底。当板料全部进入凸、凹模的间隙时，拉深过程结束，毛坯变成具有一定直径和高度的圆筒形件。圆筒件的直壁部分是由平板坯料的

环形部分（外径为 D ，内径为 d ）转变而成的，所以拉深时毛坯的外圈部分属于变形区，而底部在拉深过程中受到来自凸缘部分的拉力作用，呈扩张的趋势，其变形量一般不大，如果不作记号，在外观上肉眼难于察觉，在过去都被粗略地认为属于不变形区。

如果不用模具，将图 4-2 所示的直径为 D 的毛坯去掉其中阴影部分，再将剩余部分沿直径的 d 圆周弯折起来并焊接，就可以得到直径为 d 高度为 $(D - d) / 2$ 的圆筒形件。但拉深过程中并没有去掉阴影部分，那些“多余的材料”去哪儿了呢？实际上，材料在拉深变形中发生了流动，经蠕合后转移到工件直壁上，使拉深结束后工件高度要大于 $(D - d) / 2$ 。

为进一步了解材料的流动情况，可以在拉深前毛坯上画一些由等距离的同心圆和等角度的辐射线组成的网格（见图 4-3），然后进行拉深，通过比较拉深前后网格的变化来了解材料的流动情况。可以发现，拉深后筒底部的网格变化不明显，而侧壁上的网格变化很大，原来的同心圆拉深后变成了与筒底平行的不等距离的水平圆周线，而且越到口部圆周线的间距越大，原来的辐射线拉深后变成了等距离且垂直于底部的平行线。

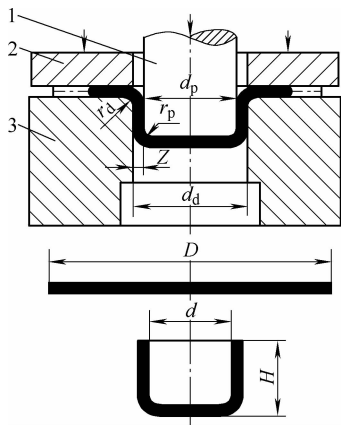


图 4-1 拉深示意图
1—凸模 2—压边圈
3—毛坯

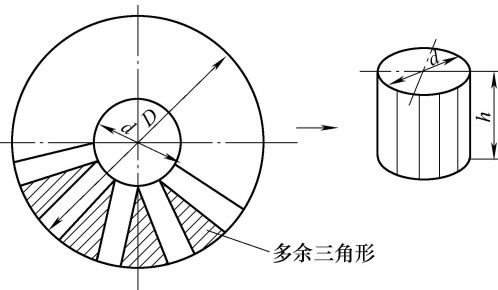


图 4-2 筒型件拼装成形

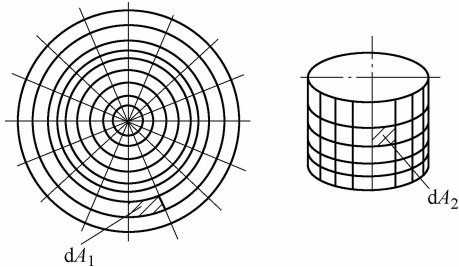


图 4-3 拉深过程中的材料转移

原来的扇形网格，拉深后在工件的侧壁变成了矩形，且拉深前后的面积相等，如图 4-3 所示，其中 $dA_1 = dA_2$ ，说明单元格在拉深中，切向受压缩，径向受拉伸，材料发生了向上的转移。越靠近毛坯边缘的单元格拉深后变形越大，说明这部分材料的流动越大，变形越大。

综上所述，拉深变形过程可作以下归纳：处于凸模底部的材料在拉深过程中，发生变化较小，变形主要集中在 $(D - d)$ 圆环形部分。该处金属在切向压应力和径向拉伸应力的共同作用下沿切向被压缩，越到口部压缩得越多；沿径向伸长，越到口部伸长得

越多。该部分是拉深的主要变形区。

4.1.3 拉深件材料厚度曲线

不锈钢材料拉深件厚度变化曲线如图 4-4 所示。在拉深过程中,凸模圆角半径 R 顶点受力最大,材料经过此处时变薄最为严重。但是,这段区域得到来自顶平面的材料的补充。随着拉深的不断深入,变薄位置渐次下移。所以当拉深终了时,工件最薄处不在坯件的顶平面(位置 3 处),而是在凸模圆角与壁部过渡的位置即位置 4~5 处。这只是低碳钢拉深料的变薄的一般性曲线,在不锈钢拉深中,由于不锈钢的抗拉强度是低碳钢的 1.5 倍,伸长率是低碳钢的 1.25~1.4 倍,所以其危险断面的点还会向后顺延,直到第 5 段的下半部分,亦即接近工件高度中线的地方。这就是我们经常看到的不锈钢拉深件从凸肚处发生断裂的原因。

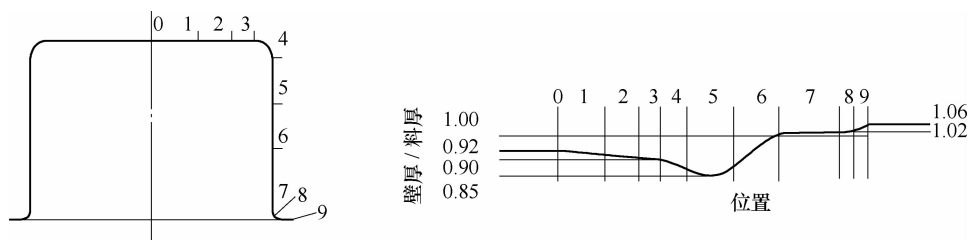


图 4-4 不锈钢材料拉深件厚度变化曲线

理论上不锈钢材料的伸长率为 38%~40%,实际上在利用到伸长率的 70% 左右,即材料厚度减少 27% 时,即会产生明显的皱裂。所以在实际生产中,拉深件最薄处的变薄率应控制在 22% 以下。

材料在位置 6 以上的区域逐渐变厚,在压边力的作用下,材料一边蠕合一边贴向凸模,变厚并不明显。在不锈钢拉深中,只有在拉深系数在 0.58 以下,且坯料直径大于 320mm 的情况下,才测得壁部顶端厚度为原材料厚度的 1.02 倍,凸缘部分为原材料厚度的 1.06 倍。所以我们在准备拉深件坯片时,可以较计算面积小一些,尤其是当模具上配备有拉深肋或拉深槛时,甚至于可以小于计算面积的 10%~15%。

4.1.4 拉深工作原理运用

我们在熟知了拉深过程中工件各部位的受力状态后,也可以采取相应的措施来提高设计水平。从前述我们知道,在旋转体拉深过程中,底部的材料自始至终都是处在以凸模圆心为原点的辐射状的拉伸应力状态中,且厚度变薄;多出的材料对凸模圆角处的材料变薄有补偿作用。利用这一点,对坯件进行简单处理,就可以减少投入,提高正品率。

如图 4-5 所示的工件,最大直径为 560mm,高度为 128mm,材料厚度为 0.8mm,要求底面圆角半径 R 小于 2.5mm。由于工件尺寸较大,如果采用大的凸模圆角拉深后,

再在下一道工序整小，耗用模具材料较多，资金投入较大。改为拉深前在毛坯上开一个小圆洞口再进行拉深，正品率达到 100%。

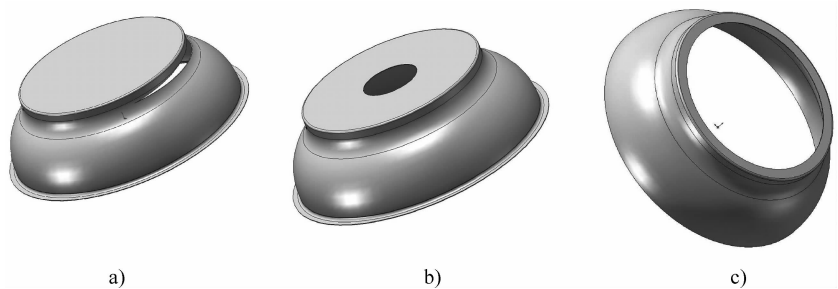


图 4-5 拉深变形机理的利用

a) 拉裂的废品 b) 坯片中开洞后拉深件 c) 冲底和剪边后的成品

上述这一原理，还被应用到多种不锈钢壶体口部的反拉深工艺中；在机制件冲压工艺中，则被用于多种发动机前齿轮室盖油封位的反拉深中，它们都取得了良好的效果。

从前面的讨论中我们还知道，拉深件的直壁是由坯料外圈材料的同心圆蠕合而成的。原来的扇形网格，拉深后在工件的侧壁变成了矩形。如图 4-6 所示的产品，正是利用了这一特点，达到了减少加工量的目的。

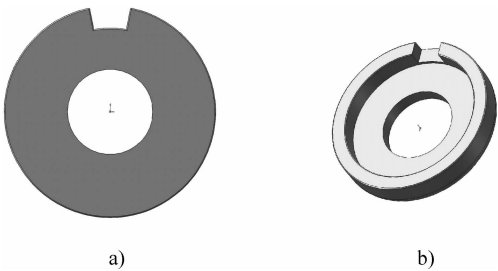


图 4-6 摩托车前叉转向限位座

a) 坯料 b) 成品

4.2 坯料尺寸的确定

拉深件毛坯形状的确定和尺寸的计算，不仅直接影响生产过程，而且对冲压件生产的经济性有很大的影响，因为在冲压零件的总成本中，材料费用一般占到 60% ~ 80%。

4.2.1 拉深件毛坯尺寸计算的原则

拉深件毛坯的尺寸应满足成形后工件的要求，形状必须适应金属流动。毛坯尺寸的计算遵循以下原则。

1. 面积相等原则

对于不变薄拉深，因材料厚度拉深前后变化不大，可忽略不计。毛坯的尺寸按拉深前毛坯表面积等于拉深后零件的表面积的原则来确定（对于变薄拉深，可按等体积原则来确定）。

2. 形状相似原则

拉深毛坯的形状一般与拉深的截面形状相似，即零件的横截面是圆形、椭圆形、正方形时，其拉深前毛坯展开形状也基本上是圆形、椭圆形或近似正方形。毛坯的周边轮廓必须采用光滑曲线连接，应无急剧的转折和尖角。

4.2.2 修边余量

拉深后零件的口部一般都不平齐（尤其是多次拉深），需要在拉深后增加切边工序，将不平齐的部分切去。所以在计算毛坯之前，应先在拉深件边缘上增加一段切边余量，其大小根据实际经验确定，可参考表 4-1 和表 4-2。

表 4-1 有凸缘件的修边余量 (单位：mm)

凸缘直径 d_1 或 宽度 B	相对凸缘直径 $d_{凸}/d$ 或相对凸缘宽度 $B_{凸}/B$			
	< 1.5	1.5 ~ 2	> 2 ~ 2.5	> 2.5 ~ 3
≤25	1.8	1.6	1.4	1.2
>25 ~ 50	2.5	2.0	1.8	1.6
>50 ~ 100	3.5	3.0	2.5	2.2
>100 ~ 150	4.3	3.6	3.0	2.5
>150 ~ 200	5.0	4.2	3.5	2.7
>200 ~ 250	5.5	4.6	3.8	2.8
>250	6.0	5.0	4.0	3.0

表 4-2 无凸缘件的修边余量 (单位：mm)

拉深高度 h	拉深件的相对高度 h/d 或 h/B			
	> 0.5 ~ 0.8	> 0.8 ~ 1.6	> 1.6 ~ 2.5	> 2.5 ~ 4
≤10	1.0	1.2	1.5	2
>10 ~ 20	1.2	1.6	2	2.5
>20 ~ 50	2	2.5	3.3	4
>50 ~ 100	3	3.8	5	6
>100 ~ 150	4	5	6.5	8
>150 ~ 200	5	6.3	8	10
>200 ~ 250	6	7.5	9	11
>250	7	8.5	10	12

注：1. B 为正方形的边宽或长方形的短边宽度。
2. 对于高拉深件必须规定中间修边工序。
3. 对于材料厚度小于 0.5mm 的薄材料作多次拉深时，应按表中数值增加 30%。

4.2.3 坯料尺寸的快速估算

计算所得的毛坯直径，并不能作为下料的最终依据。在试拉深或计算成本时，往往只对工件的坯料直径进行估算。在拉深件试制期间，一般是采用逆运作，即先制作拉深模，后制作落料模。拉深毛坯直径的准确尺寸，与材料硬度、伸长率、模具工作表面粗糙度、压边力和操作中的润滑状态等诸多因素有十分密切的关系，必须经试拉深后才能决定。首次试模料，只需通过估算后得出粗略尺寸，试模期间有可能对毛坯直径进行多次修改。

1. 有凸缘筒形拉深件的坯料直径估算

可将凸缘部分和工件底部合并计算，再加上侧壁部分的面积，如图 4-7 所示。

2. 无凸缘筒形拉深件的坯料直径估算

计算工件壁部、底部面积时，可按无凸模圆角计算，而将转角处多出的材料与切边余量互相冲抵，如图 4-8 所示。

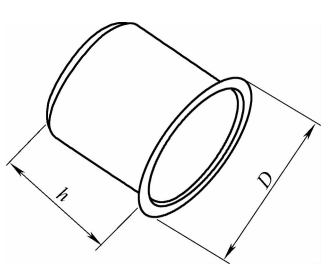


图 4-7 有凸缘件坯料尺寸估算

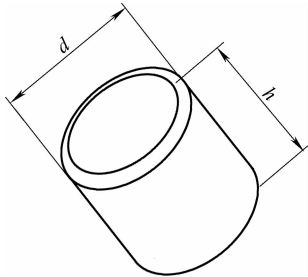


图 4-8 无凸缘件坯料尺寸估算

经过上述处理后，有、无凸缘筒形的坯料直径的估算公式均为

$$D_0 = 2 \sqrt{R^2 + hd}$$

事实上，只有在拉深系数 ≥ 0.8 以上时，拉深前后材料表面积不变的原则才适用。拉深系数 < 0.8 时，材料在拉深过程中都有不同程度的变薄，最多时可令坯料面积减少 15%。拉深系数越小，凹模 R 角越小，材料变薄越严重。变薄所产生的多余材料，也可以计算在切边面积内，适当地减小坯片外径尺寸。

3. 形状复杂旋转体拉深件的坯料直径快速估算

求取旋转体素线的重心是细致复杂的工作。旋转体拉深件绕轴素线所分解出的直线或圆弧段，重心与中心点的距离一般不会太大。因此，在作这类工件的坯料直径估算时，其差值可以忽略不计，以各线段的长度和中心点的直径尺寸作为依据，故各单元的表面积为

$$A = \pi dL$$

毛坯直径

$$D_0 = 2 \sqrt{\frac{A_1 + A_2 + A_3 \cdots}{\pi}}$$

整理得

$$D_0 = 2 \sqrt{A_1'' + A_2'' + A_3'' \cdots}$$

4. 多台阶件坯料直径快速估算

从底端圆角半径的中点处至工件口沿作斜线，以斜线中点作为依据计算（见图 4-9），并乘以系数 K ，即：

$$D_0 = 2K \sqrt{R^2 + hd}$$

式中 K ——系数，通常取 1.11 ~ 1.2；

d ——辅助线中径（mm）；

h ——高度（mm）。

估算取值时，系数 K 取小优先，试模时首先应保证材料不会被拉裂，然后根据需要渐次加大坯料尺寸。

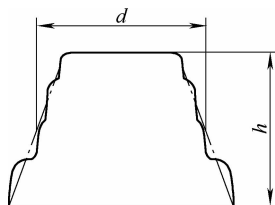


图 4-9 多台阶件坯料直径快速估算

4.3 拉深模的基本形式与选型

4.3.1 拉深模分类

拉深模从压边形式上可分为有压边圈拉深模和无压边圈拉深模；从工作顺序上可分为首道拉深模和后道拉深模。从结构形式上可分为正拉深模、反拉深模和变薄拉深模。

正拉深和反拉深在不锈钢制品中应用较多。而变薄拉深则由于不锈钢的导热性能较差，在变薄过程中产生积热，令拉深条件迅速恶化，因而应用很少，在本书中不作介绍。

正拉深模又分为正装拉深模和倒装拉深模。凸模在上，凹模在下即所谓正装拉深模。反之，则称为倒装拉深模。

基于拉深凸模与冲裁凸模保持方向一致的缘故，正装拉深模在连续拉深的级进模中应用较多。

1. 首道拉深模

首道拉深模可分为正装式拉深模和倒装式拉深模。

(1) 正装式拉深模 无凸缘、不用压边圈，或有压边圈但所需压边力不大的可以采用正装拉深模，利用下出料的方便提高工作效率，如图 4-10 所示。

在单工序模中，正装拉深模仅靠套装在凸模外圈的弹性元件提供压力，故而无论是压料力还是行程都十分有限，多用在拉深系数大，不用压边圈，或用压边圈但压边力不大的工件成形中。用于无凸缘工件拉深时，多采用通过式脱料方式。当凸模上升时，成形工件边缘的少量回弹致使工件口部张大，挂住凹模下口，达到脱料的目的。故而正装拉深模工作效率较高，如图 4-11 所示。

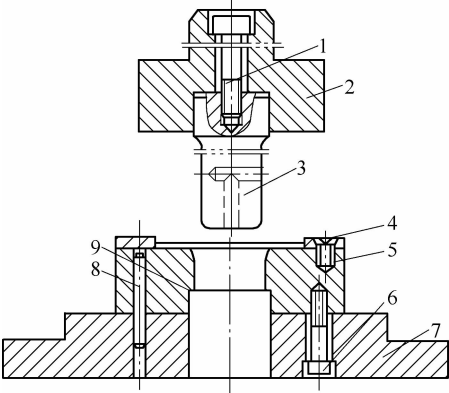


图 4-10 无压边装置首道拉深模

1、5、6—螺钉 2—模柄 3—凸模 4—定位板
7—下模座 8—销钉 9—凹模

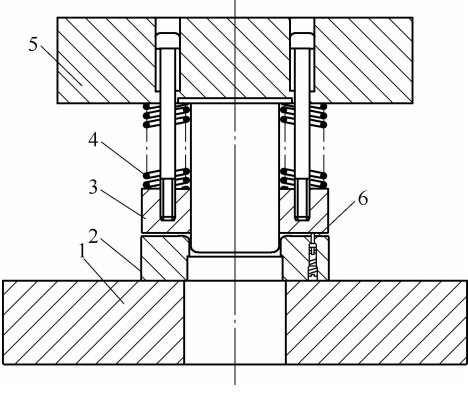


图 4-11 有压边装置正装式
首道拉深模（压力机）

1—下模座 2—凹模 3—压料圈 4—弹簧
5—上模座 6—活动定位销

(2) 倒装式拉深模 生产实践中，倒装模比正装模应用广泛。这是因为，在压力机上拉深有凸缘工件时，倒装式比正装式安装方便，弹性元件放置空间大，可以得到较大的压边力，而且调整弹顶装置的空间较正装式更大，操作更便利。在液压机上安装的首道拉深模，绝大多数都设计成倒装式，这样，可以利用下液压缸来调整压边力。在后面还会谈到，倒装式拉深模在试模时还有很多比正装式方便的地方，如图 4-12 所示。

2. 后道拉深模

(1) 倒装式后道拉深模 后道拉深模设计成倒装式，可以保证工件外观质量的稳定。倒装式后道拉深模由凹模、打料装置、模套和凸模组成，如图 4-13 所示。

(2) 无压边装置后道拉深模 无压边装置后道拉深模的拉深系数应大于 0.8，多用于材料厚度不大，产品直径也不大的场合，如连续拉深模等，如图 4-14 所示。

3. 反拉深模

工件需多次拉深时，首道采用正拉深，以后各道次采用反拉深或正反拉深交替的方法，有利于工件成形，如图 4-15 所示。

所谓反拉深，就是工件经首道拉深后的半成品，扣在空心凹模上，凸模由外平面进入凹模进行拉深。这时由于凸模对坯料的作用力方向与前道拉深时相反，因此使材料的内外表面互相转换，可以加大其变形程度，提高生产效率。

反拉深具有以下特点：

1) 反拉深时由于坯料与凹模间的包角很大，所以材料沿凹模的摩擦阻力大，弯曲抗力大，因此不容易起皱。当凹模壁厚小于 $28t$ 时，可以不采用压边圈。

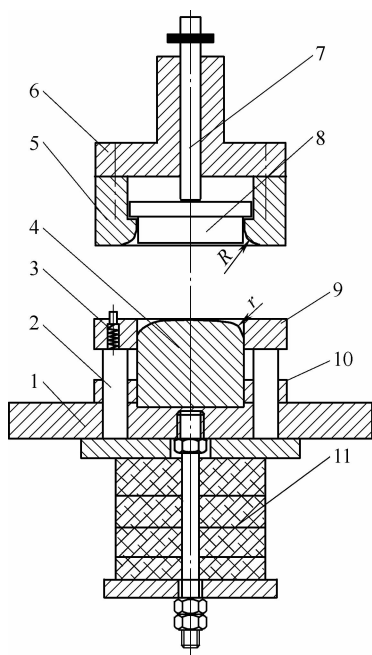


图 4-12 倒装拉深模（压力机）

- 1—下模座 2—顶杆 3—坯料定位
4—凸模 5—凹模 6—上模座
7—推料杆 8—推料板 9—压边圈
10—凸模固定板 11—弹顶机构

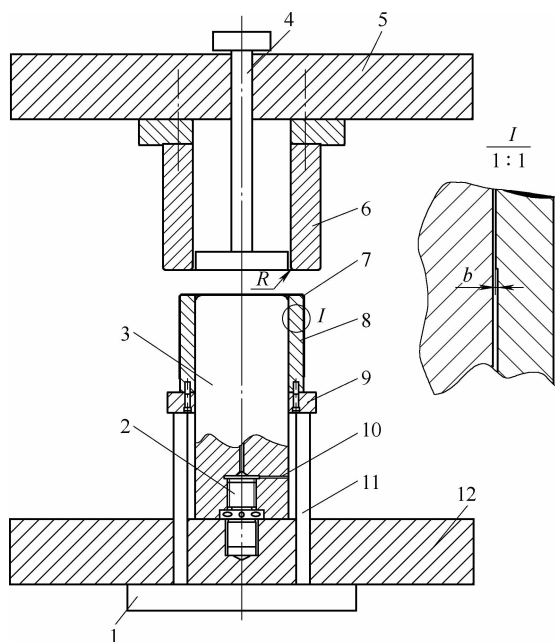


图 4-13 倒装式后道拉深模通式

- 1—下液压缸顶板 2—通用连接螺柱 3—凸模
4—推料杆 5—液压机滑动座 6—凹模
7—工件 8—模套 9—中座板 10—排气孔
11—顶杆 12—液压机工作台

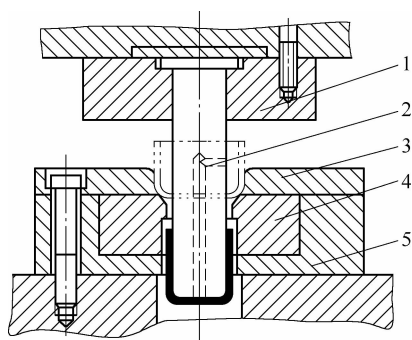


图 4-14 无压边装置后道拉深模

- 1—凸模固定板 2—凸模 3—定位板
4—凹模 5—凹模固定板

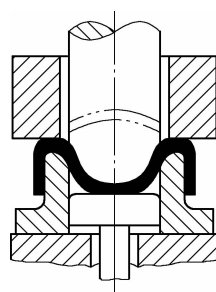


图 4-15 球形件反拉深

2) 由于材料的受力和弯折方向与上道工序相反, 半成品的冷作硬化程度比正拉深低。

3) 凹模内外圆角半径尺寸的和不能大于凹模壁厚值。由于受到工件尺寸的限制, 其坯筒直径 d 不能小于 $30t$, 内侧圆角半径应大于 $4t$ 。

4) 反拉深的拉深系数不能过大, 否则会使凹模的强度降低, 一般拉深系数可比正拉深小 $10\% \sim 15\%$ 。

5) 反拉深时, 由于凹模圆角不能太小, 所以拉深小型工件比较困难, 一般适用于大中型圆筒形工件。

6) 相对于正拉深, 反拉深模的凸、凹模间隙可取大 $15\% \sim 30\%$ 。

7) 凹模壁厚不能小于 $10t$, 其绝对值不宜小于 6mm 。

反拉深对于悬空面积大的工件的成形, 有着十分明显的优势。反拉深时用的坯筒, 有平顶和球顶两种。拉深过程中, 球顶坯筒与凸模的接触是逐步渐进的, 因此半球形、锥形、抛物线形工件采用球顶坯筒更为有利。

4.3.2 拉深模选型

当我们接到图样时, 要对拉深件进行大致的分类。拉深模的结构形式主要考虑因素是工件的外形, 其余的相关因素如下:

- 1) 材料厚度与坯片最大尺寸的比例。
- 2) 坯片尺寸与最终成形尺寸的比例。
- 3) 长径比或最大宽度与高度的比例。
- 4) 底部与敞口端尺寸的比例。
- 5) 表面精度。
- 6) 材料抗拉系数。

当这些数据都集齐之后, 就可以考虑拉深模该采用什么样的结构形式了。

拉深模选型可根据下列条件进行:

$$1) \frac{d_0 - d_1}{2} \leq 7t \text{ 时, 采用正装下出料模, 不用压边圈。}$$

$$2) 7t < \frac{d_0 - d_1}{2} < 14t \text{ 时, 采用锥形凹模下出料形式, 不用压边圈。}$$

$$3) \frac{d_0 - d_1}{2} \geq 14t \text{ 时, 采用平面凹模, 带压边圈。}$$

4) 单工序筒形件采用倒装拉深模。凸缘部分平整度要求不高或无凸缘的长筒件也可以采用倒装模作多次拉深, 但在材料的冷作硬化严重时应安排中间退火。

5) 凸缘部分平整度要求高的多道次拉深工件, 应交替使用正、反拉深, 这样可以减少杠杆挠曲对凸缘平整度的影响。

6) 拉深道次在 3 道以上的工件应尽量考虑有中间穿插 1~2 道锥形凹模。

7) 中等深度锥形件应尽量考虑正拉深 + 反拉深。

8) 在不锈钢餐具制造中, 密封性能要求不高的长筒件, 可考虑采用焊管 + 接底的方法生产代替拉深。

9) 抛物线形工件采用拉深 + 硬模胀形。

10) 流线型、腹部容易起皱的工件, 可考虑采用从内向外拉深法。

11) 二道拉深压边面积不足的工件, 可考虑将首道拉深模凹模圆角放大, 改用由内向外拉深法。

12) 主变形面与轮廓线有相贯关系的工件采用曲面压边圈。

13) 后道拉深时底部材料已发生严重变薄现象, 或是在成形时没有材料来源的情况下, 如果允许冲孔, 则应加冲工艺孔, 以期从冲孔位获取材料; 如果不允许冲孔, 则应在首道拉深时即保证这部分的材料到位。

14) 旋转体拉深件采用拉深肋或槛的条件, 曲面或锥面高度小于整体高度 $1/2$ 的不用采取特别措施; 大于整体高度 $1/2$, 但小于 $2/3$ 的采用拉深槛; 超过 $2/3$ 的采用拉深肋, 如图 4-16 所示。

15) 尽量避开高锥形件拉深, 条件允许时, 改为扇形下料弯曲成形锥筒加焊接工艺。

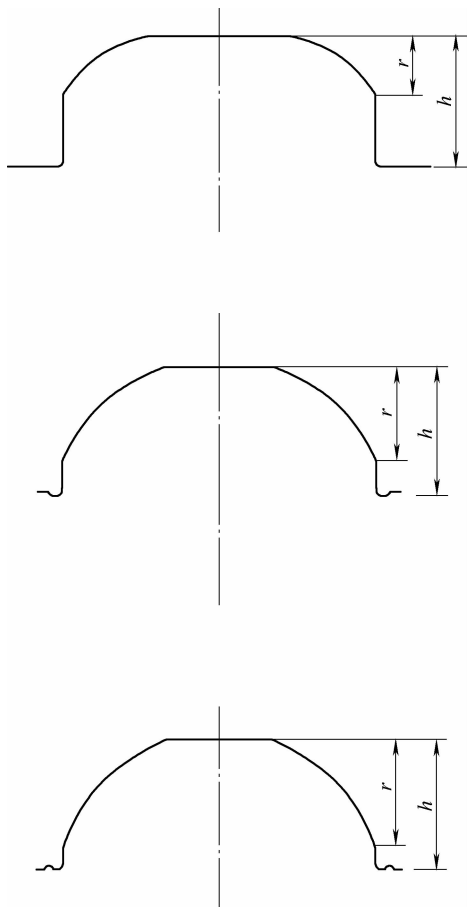


图 4-16 采用拉深肋或槛的条件

4.4 拉深模工作零件与参数

拉深模无论是倒装模还是正装模, 其主要工作部分都由凸模、凹模和压料圈组成。附件有弹簧定位销、退料板、弹性压料装置等, 因模具的结构形式不同而有所取舍。

4.4.1 凸模

1. 材料

几乎所有的铁基材料都适合用作拉深模的凸模材料, 包括合金工具钢、模具钢、碳

素工具钢和球墨铸铁、灰铸铁。凸模一般不会磨损，选择凸模材料的主要考量因素是拉深材料的硬度和产品批量。材料的硬度和产品批量都较大时，应该考虑选用较为高档的合金工具钢和模具钢，并进行热处理，以提高模具的表面硬度。其好处之一是可以抵抗材料变形时对模具的硌伤；其二是可以防止可能遭遇到的撞击等失误造成模具变形，保证模具的寿命和产品前后批次的一致性。反之，则可采用价格相对便宜的碳素工具钢或铸铁，以期达到节约资金的目的。

在不锈钢制品业中，产品批量一般较大，凸模通常采用冷作模具钢 Cr12 制作。

2. 圆角半径

凸模圆角半径 $r_{\text{凸}}$ 与拉深成败关系重大。工件出现破裂，且裂口位于工件底部圆角附近，极有可能是凸模圆角半径 $r_{\text{凸}}$ 过小的缘故导致的。凸模圆角半径 $r_{\text{凸}}$ 与材料厚度和变形程度存在着十分密切的关系。材料厚度和坯件变形程度越大，要求凸模圆角半径 $r_{\text{凸}}$ 也越大，反之可以趋小。

凸模圆角半径 $r_{\text{凸}}$ 大，则拉深件该处材料变薄较小，强度较高，就可以减小的拉深系数。拉深力是经过圆角半径 r 处传递到拉深件底部的。位于凸模圆角处的工件材料是最容易破裂的危险断面；凸模圆角半径 $r_{\text{凸}}$ 越小，危险断面变薄越严重。凸模圆角半径 $r_{\text{凸}}$ 越大，则能传递的力越大，允许极限拉深力也就越大。

多道拉深的凸模圆角半径，第一道可取与凹模圆角半径相同的数值，以后各道可按前道拉深圆角半径的 75% 递减。末道拉深凸模的圆角半径值，决定于工件尺寸要求。如果工件要求的圆角半径小于 $2t$ ，则必须增加整形工序，整小圆角。

在模具设计中，如无特殊要求，凸模圆角半径 $r_{\text{凸}}$ 一般比凹模圆角半径 $r_{\text{凹}}$ 略小。但即使在最后一道工序， $r_{\text{凸}}$ 也不得小于料厚。

在不锈钢制品中，单道拉深成形工件的凸模圆角半径 $r_{\text{凸}}$ 以产品外观需要为依据，一般都数倍于材料厚度，不会对生产过程产生不利影响。

3. 凸模长度

首道拉深模凸模高度计算公式为

$$H = h_1 + h_2 + h_3$$

式中 H ——凸模总高度 (mm)；

h_1 ——工件高度 (mm)；

h_2 ——压料圈高度 (mm)；

h_3 ——裕量 (mm)。

后道拉深凸模高度计算公式为

$$H = h_1 + h_2 + h_3 + h_4$$

式中 H ——凸模总高度 (mm)；

h_1 ——本道次拉深高度 (mm)；

h_2 ——模套高度 (mm)；

h_3 ——模套垫板高度 (mm)；

h_4 ——裕量 (mm)。

裕量通常取 6 ~ 30mm，视模具大小和拉深高度而定，同时也要关注到压力机的控制精度。

4. 通气孔

工件拉深后，凸模与工件间接近于真空状态，由于外界空气压力的作用，同时加上润滑油的黏性等因素，使工件很容易吸附在凸模上。为了方便工件取出，设计凸模时，应开设通气孔。通气孔的另一个作用是方便排气，不会产生鼓包等不良现象。当凸模顶部面积太大时，可以环形排列多个。通气孔的下端应暴露在压料圈或模套垫板行程之外，如图 4-17 所示。

半球形凸模和直径小于 40mm 的平顶凸模可以不开通气孔。拉深凸模通气孔尺寸见表 4-3。

表 4-3 拉深凸模通气孔尺寸

凸模直径/mm	40 ~ 50	> 50 ~ 100	> 100 ~ 200	> 100 ~ 200
通气孔直径/mm	5	6.5	8	9.5

为了使最后一道拉深后工件的底部平整，圆角结构模具，其最后一道（第 N 道）拉深凸模圆角的起始点应与倒数第二道（第 $N - 1$ 道）圆角的起始点在同一圆环线上。

如果是锥面凹模结构，则（第 $N - 1$ 道）工序凸模底部的斜线应与（第 N 道）工序的凸模圆角半径相切，如图 4-18 所示。

4.4.2 凹模

凹模是致使拉深材料变形的关键零件，工作条件比凸模恶劣，所以凹模不但要有一定的硬度和强度，还要有一定的韧性。

1. 凹模材料

基于上述原因，凹模材料一般比凸模材料高（1 ~ 2）个等级，并经热处理或表面热处理，工作面硬度达到 56 ~ 62HRC。常用于拉深凹模的材料有 Cr12MoV、Cr12、45 钢和球墨铸铁。以上排列中的材料经热处理后的强度与寿命依次递减。Cr12、Cr12MoV 是不锈钢材料拉深模用主要材料。45 钢和球墨铸铁主要用作变形程度较小的大型工件拉深。未经热处理的球墨铸铁不可以用作不锈钢拉深凹模。

近年来有科研单位开发出铍青铜用于不锈钢拉深，对于减少拉痕很有帮助。但铍青

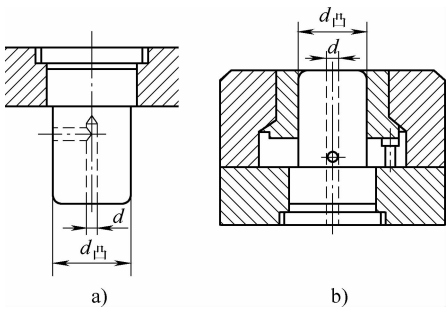


图 4-17 拉深凸模通气孔
a) 正装结构 b) 倒装结构

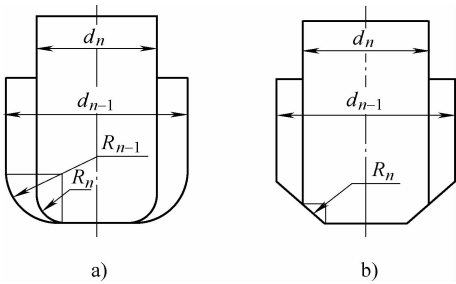


图 4-18 最后一次拉深
凸模底部尺寸的确定
a) 圆角结构 b) 斜角结构

铜价格较高，在市面上还未得到普及。

2. 凹模壁厚

拉深凹模必须有一定的壁厚才能保证强度，克服材料变形产生的张力。拉深模壁厚与材料厚度、工件的变形程度呈正比例关系。材料厚度越大，拉深系数越小，壁厚越大。落料拉深复合模凹模最小壁厚见表 4-4。

表 4-4 落料拉深复合模凹模最小壁厚

材料牌号	凹模最小壁厚	壁厚绝对值/mm
08、10	10 <i>t</i>	≥3
06Cr18Ni10、06Cr18Ni11Ti、06Cr13	12 <i>t</i>	≥4
H62、H68、1060、1050A	7 <i>t</i>	≥2

注：单工序模中，凹模壁厚不小于 15mm。

3. 凹模厚度

设计中，凹模厚度通常采用的经验公式为

$$R_{\text{凹}} = 0.8 \sqrt{(D - d) t}$$

式中 *D*——毛坯或上道工序的拉深直径（mm）；

d——本道工序的拉深直径（mm）；

t——材料厚度（mm）。

拉深凹模必须具备一定的厚度才能保证其刚性。与壁厚不同的是，凹模厚度数据与后背垫套的制作方式有极大的关联。当使用多点立柱后背时，凹模厚度应比柱套式后背加大 30% ~ 50%，否则工件成形后有出现圆角多边形的可能。在不锈钢工件作大变形程度拉深时尤其应当注意。

在不锈钢拉深模中，凹模厚度一般不小于 25mm。在大型拉深模中，为了节省模具钢，可以只采用模具钢作凹模工作面，而采用厚实的灰铸铁作后背的复合结构。

4. 圆角半径

凹模圆角半径 *R*_凹 是拉深成形的关键数据。若 *R*_凹 过小，则材料被拉入凹模时阻力就大，引起总的拉深力增大，零件容易产生划痕、变薄甚至拉裂，模具寿命也会显著降低；若 *R*_凹 过大，则压边圈下材料受压的面积减小，尤其是在拉深后期，会使坯件外边缘过早地脱离压边圈而起皱。

在不产生起皱的前提下，*R*_凹 取值越大越好。凹模圆角半径 *r*_凹 的最小值也可查表 4-5。

表 4-5 拉深凹模的圆角半径 *r*_凹 的数值（10 钢）（单位：mm）

直径差 <i>d</i> ₀ - <i>d</i>	材料厚度 <i>t</i>					
	≤1	>1 ~ 1.5	>1.5 ~ 2	>2 ~ 3	>3 ~ 4	>4 ~ 6
≤10	2.5	3.5	4	4.5	5.5	6.5
>10 ~ 20	4	4.5	5.5	6.5	7.5	9

(续)

直径差 $d_0 - d$	材料厚度 t					
	≤ 1	$> 1 \sim 1.5$	$> 1.5 \sim 2$	$> 2 \sim 3$	$> 3 \sim 4$	$> 4 \sim 6$
$> 20 \sim 30$	4.5	5.5	6.5	8	9	11
$> 30 \sim 40$	5.5	6.5	7.5	9	10.5	12.5
$> 40 \sim 50$	6	7	8	10	11.5	14
$> 50 \sim 60$	6.5	8	9	11	12.5	15.5
$> 60 \sim 70$	7	8.5	10	12	13.5	16.5
$> 70 \sim 80$	7.5	9	10.5	12.5	14.5	18
$> 80 \sim 90$	8	9.5	11	13.5	15.5	19
$> 90 \sim 100$	8	10	11.5	14	16	20

连续拉深凹模的圆角半径 $R_{\text{凹}}$ 见表 4-6。

表 4-6 连续拉深凹模的圆角半径 $R_{\text{凹}}$ (10 钢) (单位: mm)

材料厚度 t	0.25	0.50	1.0	1.5
无切口拉深	$(6 \sim 7) t$	$(5 \sim 6) t$	$(4 \sim 5) t$	$(3 \sim 4) t$
有切口拉深	$(5 \sim 6) t$	$(4 \sim 5) t$	$(3 \sim 4) t$	$(2.5 \sim 3) t$

一般说来,凹模圆角半径不宜小于表 4-5 或表 4-6 的数值,以避免材料破裂。但对于拉深性能良好的材料,凹模圆角半径可以适当减小。

在不锈钢拉深模设计中,由于材料的抗拉性能优于低碳钢,所以如果拉深系数相同,则凹模圆角半径 $R_{\text{凹}}$ 可取为低碳钢的 50% ~ 70%。反之,如果凹模圆角半径 $R_{\text{凹}}$ 相同,则拉深系数可在低碳钢的基础上降低 10%。

值得注意的是,拉深模上机调试是综合平衡各方面因素的十分细致的过程,其中凹模圆角半径 $R_{\text{凹}}$ 的大小尤其敏感。所以在模具设计时,凹模圆角半径 $R_{\text{凹}}$ 比计算值取小一些,方便试模时修改。如果试模前 $R_{\text{凹}}$ 取值较大,则在修改时需要将整个凹模工作面破坏并重新修复,无疑会增大工作量。

5. 工作面的表面粗糙度

凹模工作面包括了凸模投影的全部面积和凹模圆角,直至材料脱离凹模内圈的全部表面,尤以凹模圆角最为重要。要求 $R_{\text{凹}}$ 整个环带的表面粗糙度值比工作平面低一级,一般需抛光至 0.2μm 以下。

经平面磨削加工后凹模表面应在车床或其他旋转机具上再行抛光,直至看不到砂轮痕迹为止。这一步工作如果不到位,有极大可能产生凸缘周边宽度不一致的现象。具体表现:磨削纹理与材料收缩方向平行的边凸缘宽度较窄,与材料收缩方向垂直的边凸缘宽度较宽;在无凸缘拉深件中,表现为工件敞口端边缘不齐,其方向与有凸缘工件相类似,如图 4-19 所示。

6. 凹模尺寸与公差

Cr12、Cr12MoV 凹模经热处理后磨损量极小，一般可以忽略不计。拉深件从凹模脱出后有微量回弹，所以当工件的尺寸标注在外形时，凹模内径以产品标注尺寸为依据，极限偏差取负值。

7. 凹模结构形式

凹模结构形式可分为平端面凹模和锥形凹模。

(1) 平端面凹模 平端面凹模是最基本的拉深凹模形式，广泛用于首道和后道拉深模中。在悬空面积过大或压边面积较小的条件下，为了增加材料边缘部分的流动阻力，有时需要在凹模上增设拉深肋或拉深槛。

(2) 锥形凹模 锥形凹模总是与锥形压料圈成对使用的。锥形压料圈把坯料预压成锥形，再经凸模拉深。等于多进行了一次不用压料的拉深，减小了坯料在凹模圆角处的包容角，降低了拉深变形单位抵抗力，如图 4-20 所示。

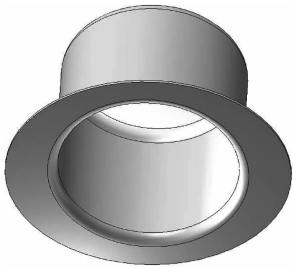


图 4-19 拉深件
凸缘宽度不一致

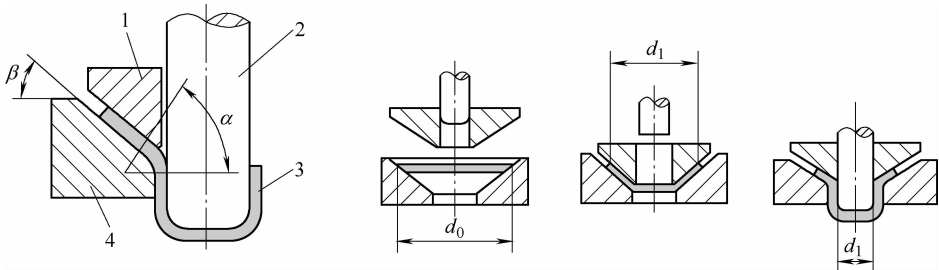


图 4-20 锥形凹模的拉深过程

1) 采用锥形凹模拉深时，可以使相对厚度较小的毛坯在拉深时不容易起皱。这是因为用锥形凹模拉深时，毛坯的变形区首先成为曲面形状，提高了抗失稳能力，减小了起皱趋势。锥形凹模的圆角半径令摩擦阻力和弯曲变形阻力都减少到很低的程度，有利于毛坯变形区产生切向压缩变形，同时凸模的作用力也比用平端面凹模拉深时小得多。由此可见，采用锥形凹模可以用于相对小的拉深系数。

2) 不用压边圈时，锥形凹模用于首道拉深模，可将材料的自蠕合能力提高 30%，即不用压边圈的条件可由 $(t/d) \times 100 \geq 2$ 降低到 $(t/d) \times 100 \geq 1.4$ 。

3) 锥形凹模用于后道拉深模时，其斜面已被与之配对的压料圈全面压住，切向变形在凹模与锥形压料圈中进行，不再受到材料自蠕合能力的限制。因此，锥形凹模在后道拉深模中应用较多。

4) 前面已经说过，采用锥形凹模时，前道工序的顶径应比后续工序凸模的顶径小，以避免毛坯产生不必要的反复弯曲，使工件筒壁冷作硬化程度趋于严重。

5) 不论采用平面或锥形凹模，均需注意前后两道工序的模具在形状、尺寸上的协

调，使前道工序得到的半成品形状有利于后道工序的成形，而压边圈的形状和尺寸应与前道工序凸模的相应部分相同。锥形凹模的锥面角度，也要与前道工序凸模的斜角一致，如图 4-21 所示。

6) 从坯料相对厚度及拉深系数求锥面斜角 凹模锥角 α 大小可根据材料厚度确定。不用压边圈时，首道拉深模锥形凹模的斜角角度 β ，可查表 4-7。

8. 拉深用硬质合金凹模圈与本体的配合

为了获得较长的模具寿命，常采用硬质合金与模具钢配合来制作拉深凹模的圆角部分。拉深用硬质合金牌号有：YG8、YG8C、YT5、W50。硬质合金硬度大，但性脆，不耐压，用作凹模圆角部分耐磨性好；W50 属于钢结硬质合金，虽然硬度不及钨钴类硬质合金，但作为拉深用已足够，而且加工容易，价格相对低廉。硬质合金凹模圈与整体的配合如图 4-22 所示。

硬质合金通常制成圈的形式与凹模材料热套配合。模具钢 Cr12 的线胀系数只有中碳钢的 90%，而硬质合金的碎性较大，又因为淬火后的铬钢加热时应避开回火碎性温度，所以凹模的预留过盈量一般按配合直径的 0.06% 计算。

表 4-7 从坯料相对厚度及拉深系数求锥面斜角 β

拉深系数 m_1'	坯料相对厚度 $100t/d_0$															
	1.8	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3	1.2	1.1	1.0	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3
0.3	61°	55°	52°	49°	46°	43°	40°	37°	36°	33°	32°	30°	28°	27°	26°	26°
0.35	59°	52°	48°	44°	41°	37°	33°	31°	28°	24°	21°	18°	16°	12°	9°	8°
0.4	56°	53°	50°	45°	42°	38°	35°	29°	25°	22°	18°	14°	9°	—	—	—
0.45	62°	55°	51°	47°	43°	38°	35°	31°	28°	24°	21°	17°	13°	6°	7°	—
0.5	64°	57°	53°	48°	44°	40°	36°	33°	30°	26°	23°	19°	16°	12°	10°	9°
0.55	67°	59°	56°	51°	47°	43°	39°	36°	32°	29°	26°	23°	22°	19°	18°	17°
0.6	70°	62°	58°	53°	50°	45°	41°	38°	34°	30°	28°	24°	20°	18°	16°	15°
0.65	75°	65°	61°	55°	51°	47°	42°	38°	34°	30°	28°	24°	18°	13°	12°	10°
0.7	79°	70°	65°	59°	54°	47°	45°	41°	36°	32°	29°	24°	19°	16°	14°	12°

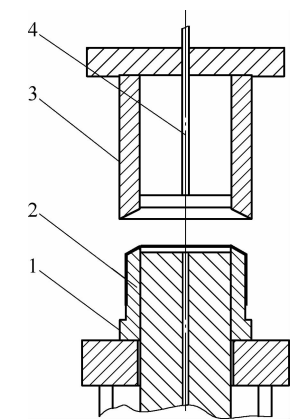


图 4-21 锥形凹模后道拉深模
1—模套 2—预拉深工件
3—凹模 4—推料杆

也可以取铬钢的线胀系数为 12.4×10^{-6} ，加热温度按 280℃ 计算。但在实际操作中凹模本体应加热到 360℃ 左右，这是因为从加热炉中取出到套合的过程中还有一定的降温的缘故。

如果硬质合金圈外径线割比较粗糙，此时可增加 0.01 ~ 0.02mm 作为补偿，抵消线割痕迹的影响。

另一种情况是，当凹模厚度较大，而壁厚大于内圆半径时，加热后凹模材料有向内收缩的倾向，这时候的过盈量需要根据经验取小一点，如图 4-23 所示。

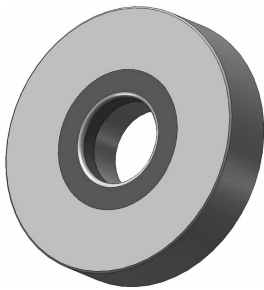


图 4-22 硬质合金凹模圈与本体的配合

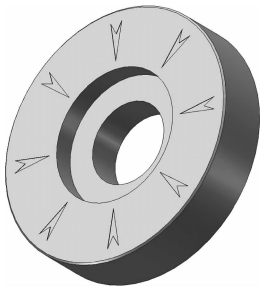


图 4-23 加热后凹模材料向内收缩示意

硬质合金圈壁厚与高度的常用比例有 1:1 和 1.33:1 两种，以后一种为好。不论何种比例，壁厚和高度的绝对值不得小于 8mm。

硬质合金与模具钢套合后用电解磨床加工凹模圆角半径 $R_{凹}$ ，并带平工作面，比用金刚石磨轮加工快，效果更好。现在市场上已经有用导电性优良的纯铜和金刚砂混铸的专用磨轮出售。

4.4.3 凸、凹模间隙

拉深模凸、凹模间隙是指凸凹模横向尺寸的差值，双边间隙用 z 来表示，如图 4-24 所示。

1. 间隙对拉深过程和工件外观的影响

间隙小时，拉深件圆柱度好，但拉深力大，工件易拉断，模具磨损严重。间隙过大，拉深力小，模具寿命虽然提高了，但工件呈锥台状。这是因为，拉深过程中，工件的底部总是贴紧凸模，而口部总是贴紧凹模的。为此，外观圆柱度要求高的工件或有配合关系的拉深件，应该参考材料变化曲线图，做比较细致、周详的考虑。

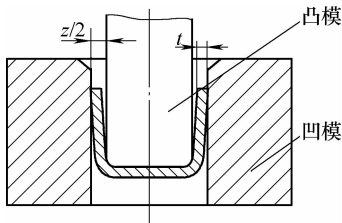


图 4-24 凸、凹模间隙

2. 间隙值

当 t/D 确定以后，坯料在成形过程中起皱与否，取决于压边力和凹模圆角。

拉深间隙不宜取为负值。事实上，小于材料厚度的凸、凹模间隙并无扼制起皱的能力。一旦材料在凸缘阶段起皱，而在经过凹模圆角时不能勒平，只会令材料流动阻力成倍增加，导致工件破裂。以半球形工件的拉深工况来看，凸、凹模间隙可以近似地认为是无穷大，此点可以证明上述观点。从另一角度来说，普通拉深模并未设置控制材料厚度的工作带；一旦凸、凹模间隙小于材料厚度，轻则材料闷死在凸、凹模间隙内，重则撑裂凹模。所以拉深模设计时，凸模与凹模间每侧的间隙，一般都大于材料厚度，以减小摩擦力。每侧间隙 $z/2$ 计算公式为

$$\frac{z}{2} = t_{\max} + Kt$$

式中 $t_{\max}$ ——材料最大厚度（mm）；
 t ——材料公称厚度（mm）；
 K ——系数（见表 4-8）。

表 4-8 拉深模间隙系数 K

材料厚度 t/mm	一般精度		较精密拉深	精密拉深
	一次拉深	多次拉深		
<0.4	0.07 ~ 0.09	0.08 ~ 0.10	0.04 ~ 0.05	0 ~ 0.04
$<1.2 \sim 0.4$	0.08 ~ 0.10	0.10 ~ 0.14	0.05 ~ 0.06	
$<3 \sim 1.2$	0.10 ~ 0.12	0.14 ~ 0.16	0.07 ~ 0.09	
≥ 3	0.12 ~ 0.14	0.16 ~ 0.20	0.08 ~ 0.10	

注：1. 对于强度高的材料， K 取较小值。
2. 精度要求高的拉深件，建议最后一道采用拉深系数 $m = 0.9 \sim 0.95$ 的整形拉深。

3. 间隙确定的原则

确定间隙的原则是，既要考虑到板料公差的影响，又要考虑毛坯口部增厚的现象。不锈钢拉深的实践表明，单工序拉深模，拉深系数在 0.52 左右，毛坯口部只是增厚 2% ~ 3%。这是因为材料产生切向变形的过程一直处于受压状态下，所以增厚并不多。

在五金制品中，只有液体用罐和化妆品容器两大类产品对于工件的圆柱度有严密的要求，这时才需要对拉深凸、凹模间隙和制造公差予以精确的计算和严格的控制。在不锈钢餐厨具制品中，工件的配合密封有赖于专用的硅橡胶密封件，故筒形件拉深模的凸凹模间隙通常取在 $1.1t$ 以上。在多道次拉深中， $n - 1$ 道以前的凸、凹模间隙一般取在 $1.1t \sim 1.5t$ 。

- 4. 拉深模选取间隙方向的规则**
- 1) 除最后一道工序外，在所有拉深道次中，取间隙方向不作规定。
 - 2) 对于最后一道工序的规则：当工件外形尺寸要求一定时，以凹模为准，凸模尺寸按凹模减小以取得间隙；当工件内形尺寸要求一定时，以凸模为准，凹模尺寸按凸模放大以取得间隙。

4.4.4 压边圈

- 1. 采用压边圈的条件**
- 如前所述，采用压边圈是防止拉深起皱的有效方法。首道拉深是否采用压边圈，或采用锥形压边圈。有两种方法可供选择：其一是用经验公式估算；其二是以材料厚度为依据计算。后一种方法比前一种方法简单、实用。
- (1) 经验公式估算法
 - 1) 用普通平端面凹模拉深时，不用加压边的条件如下：
 - ①首次拉深

$$\frac{t}{D} \geq 0.045(1 - m)$$

②以后各次拉深

$$\frac{t}{D} \geq 0.045\left(\frac{1}{m} - 1\right)$$

2) 用锥形凹模拉深时不用压边圈的条件如下:

①首次拉深

$$\frac{t}{D} \geq 0.03(1 - m)$$

②以后各次拉深

$$\frac{t}{D} \geq 0.03\left(\frac{1}{m} - 1\right)$$

(2) 查表法 利用表 4-9 来判断是否需要加压边。

表 4-9 是否采用压边圈的条件

拉深方法	第一次拉深		后续各次拉深	
	$(t/D) \times 100$	m_1	$(t/D) \times 100$	m_n
用压边圈	< 1.5	< 0.6	< 1.0	< 0.8
可用可不用	1.5 ~ 2.0	0.6	1.0 ~ 1.5	0.8
不用压边圈	> 2.0	> 0.6	> 1.5	> 0.8

(3) 以材料厚度为依据计算 拉深模是否采用压边圈，用下面的方法判定：

1) 无论材料厚度和材料尺寸大小， $\frac{d_0 - d_1}{2} \leq 7t$ 时，可以不用压边圈。

2) $\frac{d_0 - d_1}{2} \leq 14t$ 时，采用锥形凹模。一般当 $t = 0.5 \sim 1\text{mm}$ 时，斜角 $\alpha = 15^\circ \sim 30^\circ$ 。

当 $t = 1.0 \sim 2\text{mm}$ 时，斜角 $\alpha = 30^\circ \sim 45^\circ$ 。

3) $\frac{d_0 - d_1}{2} > 14t$ 时，采用平面压边圈，如果工件悬空面积大，还应考虑增加拉深肋

或拉深坎。

实践表明，在不用压边圈的情况下，无论凹模锥面斜角大小，首道拉深坯料 $\frac{d_0 - d_1}{2}$

不能大于 $14t$ 。拉深过程中，凸模以外的材料处于自然状态下，大于这个数值，凸模以外的材料失稳起皱，变成荷叶状，致使拉深不能继续，如图 4-25 所示。

首道拉深采用平面压边圈，凸模为锥顶所得到的坯筒，在后道拉深中，如果锥面全部被压住，则不受上述条件限制。

2. 压边圈的材质与厚度

压边圈的材料、壁厚和工作面硬度、表面粗糙度与凹模相同。不同的是，压边圈的

厚度问题常常被模具设计人员忽视。在以凹模作为运动部件的成形方式和拉深系数小的模具中,压边圈强度不够存在着产品发生畸变的趋向。

这一点对于后续工序有对焊要求的工件来说十分重要。如果压边圈厚度不足,将导致工件形成与顶杆数目相对应的圆角多边形,影响工件对接的准确性。

例如,某款泡茶壶体,材料为 304 不锈钢,料厚为 0.6mm,工件外径为 118mm,拉深系数为 0.52,压边圈由 4 根顶柱支撑,压边圈外径 240mm,设计压边圈厚度 60mm。拉深成形后经剪切修边,工件呈圆角正方形,最大直径差为 0.35mm,经多种方法强制箍圆,直径差仍大于 0.20mm,后将压边圈厚度改为 80mm,最大直径差降为 0.16mm,最后将厚度加厚至 100mm,直径差降至 0.03mm 以下,工件对接方便准确,焊接无破损。

3. 后道拉深模压边圈

(1) 后道拉深模不用压边圈的条件 平端面后道

拉深模不用压边圈的条件是 $\frac{d_0 - d_1}{2} \leq 14t$, 其所以达到首道拉深模数值的 2 倍,是因为后道拉深的坯筒已经带有圆角,而圆角部分对材料失稳有很好的抑制作用。

(2) 后道拉深模套 在后道拉深模中,模套实际上起着压边圈的作用。后道拉深模套有平顶型(见图 4-26)和锥顶型(见图 4-27)两种形式。

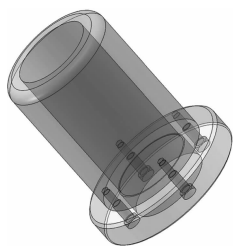


图 4-26 平顶工件拉深模套

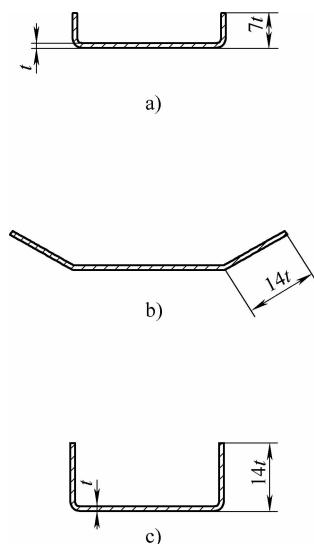


图 4-25 斜面压边圈的极限值
a) 不用压边圈 b) 斜面压边圈拉深过程中 c) 斜面压边圈拉深完毕

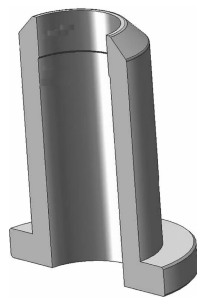


图 4-27 锥顶工件拉深模套

1) 模套工作段的高度,应比前道拉深件高度加大一定距离(6~20mm),这样不仅方便工件的放置,也可适应模具少量修改的需要。

2) 平顶模套圆角半径应比上道拉深凸模圆角半径大 0.5~2mm,以便于工件放置。

为了减小模套与凸模之间的摩擦力,高度较大的模套往往只在上部与凸模形成配合关系,而将距离顶端 60mm 以下的内壁剔空。

将模套的直筒部分和凸缘部分分别用模具钢和中碳钢制作，采用螺纹连接可以节省模具钢材料。

4. 压边圈与凸模间隙

压边圈与凸模间隙采用 E9/h9 配合，其单边间隙绝对值可取为 0.05 ~ 0.30mm。

4.4.5 压边装置的出力方式

压边装置按出力方式可分为刚性压边、弹性压边和液压压边。

1. 刚性压边

刚性压边装置用于双动压力机，凸模装在压力机内滑块上，压边装置装在外滑块上。其动作原理如图 4-28 所示。曲轴 1 旋转时，首先通过凸轮 2 带动外滑块 3 使压边圈 6 将毛坯压在凹模 7 上，随后由内滑块 4 带动凸模 5 对毛坯进行拉深。在拉深过程中，外滑块保持不动。刚性压边圈压边力大小的调整，是通过调节连接外滑块的螺杆（丝杠）来调节压边圈与凹模间隙 c 而实现的。考虑到毛坯凸缘变形区在拉深过程中板厚有增加现象，所以调整模具时 c 应略大于板厚 t 。

用刚性压边，压边力不随行程变化，可以拉深高度较大的工件，拉深效果较好，且模具结构简单。

2. 弹性压边

弹性压边一般采用弹性元件和压缩空气作为动力源。

(1) 弹性元件 拉深用弹性元件不但要求压力强劲，还应具备较大的可压缩量，常用的弹性元件有钢制螺旋弹簧、橡胶弹性体。几种弹性元件的特性如图 4-29 所示。

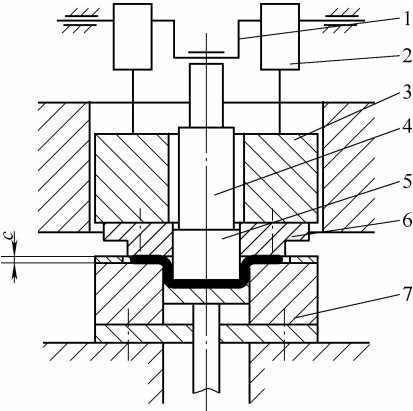


图 4-28 双动压力机拉深原理
1—曲轴 2—凸轮 3—外滑块 4—内滑块
5—凸模 6—压边圈 7—凹模

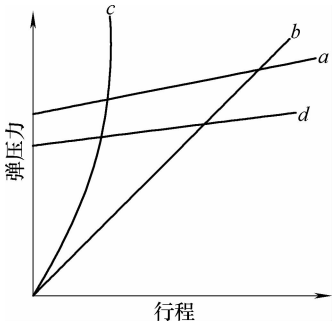


图 4-29 几种弹性元件的特性曲线
a—氮气弹簧 b—弹簧
c—橡胶弹性体 d—气垫

在中小工厂，拉深用弹性元件除钢制螺旋弹簧外，还广泛使用橡胶弹性板或棒料，其优点是加工十分方便，调整快捷，抗油和抗老化性能也比较优越。

弹簧和橡胶压边装置多用于小吨位单动压力机,如中小型机械压力机或单作用液压机等。由于提供的压力和压缩行程较小,特性曲线与压料的需要相反,因此厚料、深拉深不宜采用。

(2) 气垫 大吨位压力机工作台下部带有气垫装置,使用压缩空气,通过调整气路中的压力大小来控制压边力。气垫压边装置工作平稳,压边力不随行程变化,压边效果较好,适用于大尺寸、浅拉深件的压边。大型压力机上的气垫所使用的是低压空气,需要有单独的压缩气源供应与之相应配套,结构比较庞大,调整压力既不方便,也不精确。模具在压力机上的位置需要固定,不具有灵活性。小型压力机一般不配置气垫。

(3) 液压 大中型工件一般采用液压机作为拉深动力源。液压机中,下液压缸通过顶杆向压边圈提供压料力。下液压缸油路中装有溢流阀。当压边圈受压下降时,下缸油路压力上升,溢流阀动作。因此,液压机能够为拉深提供稳定的压料力,如图4-30所示。

拉深模试模阶段,需要根据产品的大小,模具工作形式和拉深系数的不同,合理选择下液压缸的单位压力,并使其逐步提高,否则极有可能出现压坏压料圈或顶杆的事故。一旦试模结束,即应将下液压缸溢流阀锁定,交付生产。

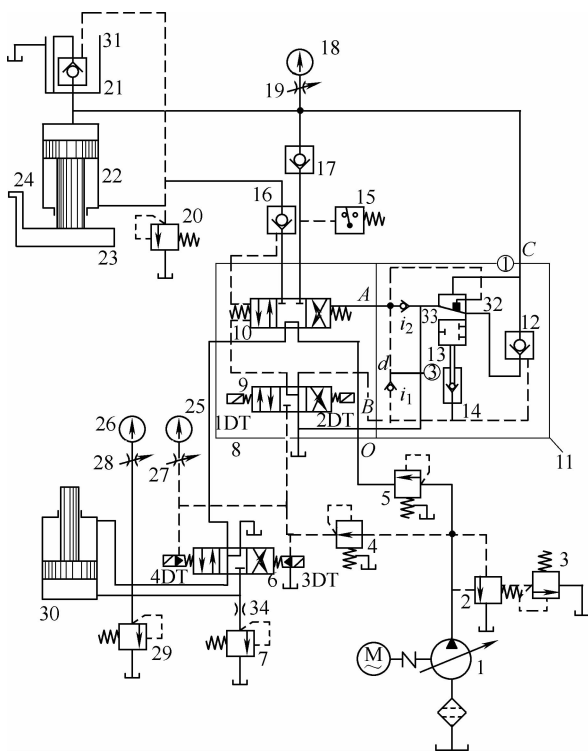


图4-30 YB32-300型四柱万能液压机液压系统

- 1—手动柱塞变量泵 2、3、5、7、20、29—溢流阀
4—减压阀 6、8—电液换向阀 9—电磁阀 10—手动换向阀 11—预泄换向阀 12—液控单向阀
13—阀杆 14—单向阀 15—压力继电器 16、21—液控单向阀 17—单向阀 18、25、26—压力表
19、27、28—可调节节流口 22—主液压缸
23—滑块 24—行程挡铁 30—下液压缸
31—补油箱 32、33—通油孔道
34—固定节流孔

4.4.6 坯料定位

正装拉深模的定位安装在凹模上,倒装拉深模定位安装在压边圈上。

如前所述,拉深过程中,材料由平面变形为立体空间形状是多种因素综合作用的结果,所以通过计算并不能得到准确的坯料尺寸,而是要经过多次试验,在稳定的

工作状态下才能获取相对准确的坯料尺寸。所以，以倒装模为例，试模前压边圈不淬火，而是先行试拉深，在得到具体的坯料尺寸后再决定定位销钉的位置，然后进行热处理。

定位装置一般设计成活动定位销形式，由销钉、弹簧和螺塞组成。为了方便入料，通常只需要在圆周线上安装两只定位装置即可为圆形坯片定位。其与中心点的夹角取为 $120^{\circ} \sim 150^{\circ}$ 。活动定位销直径不宜大，取 $\phi 4 \sim \phi 5\text{mm}$ ，充作弹簧座的底孔螺塞应尽可能采用细牙螺纹，如图 4-31 所示。

坯料定位的另一种方式是制作基坑；基坑的直径略大于坯料直径，深度取材料厚度的 $50\% \sim 80\%$ 。这种定位方式在工作面被破坏后很难修复，所以要求凹模或压边圈工作面热处理硬度达到 60HRC 以上，如图 4-32 所示。

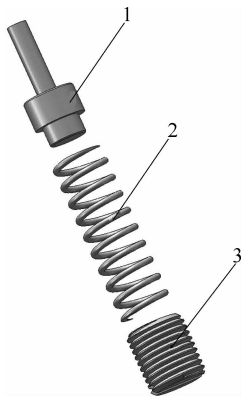


图 4-31 定位销钉组合
1—销钉 2—弹簧 3—螺塞

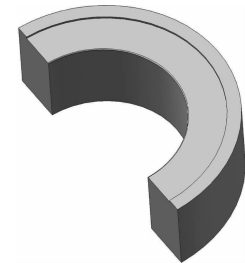


图 4-32 带基坑的压边圈（半剖视）

热处理前忘记制作定位的凹模或压边圈，可在拉深前用双组分丙烯酸酯粘接，材料采用坯片冲裁时的废料即可。

4.4.7 推料板

为了方便工件从凹模中脱出，直筒件拉深模应设计推料板。当上模回程时，推料板通过打料杆从压力机上座获取动力，将工件从凹模中推出。推料板外径与凹模内径采用 H10/c10 配合。

4.4.8 顶杆

顶杆用于压边圈与弹性元件或下液压缸之间力的传递，采用 45、45Mn2 或 Cr40 制作，经调质后硬度为 40 ~ 44HRC。外圆需经磨圆或精车。用于液压机上的顶杆，一组顶杆无论数目多少，其长度误差不得大于 0.02mm。用于机械压力机上的小型拉深模具中的顶杆，其长度误差不大于 0.06mm。顶杆与导向孔之间的配合通常为 H8/g7。

4.5 拉深模设计

4.5.1 压边力的计算

压边力能引起毛坯凸缘部分与凹模平面和压边圈表面之间的摩擦阻力,该摩擦阻力会增加危险断面的拉伸应力。压边力太大会导致拉裂或严重变薄,而压边力太小则会导致坯料起皱。

在实际生产中,压边力通常按照拉深力的 1/4 进行估算。压边力受到材料性质、模具表面粗糙和润滑等因素的关联,详细地计算压边力,严格来说并无实际意义,生产中通常在试模时随机调整。

4.5.2 拉深力计算

拉深力计算实用公式的出发点是工件的完整,证明了拉深力小于危险断面的破坏力。换言之,无论拉深件变形程度大小,拉深力总是小于危险断面的破断力。

在实际生产中,根据以上推论,一般不对拉深力进行精确计算,而是根据拉深件的变形程度进行估算。估算的主要依据是拉深件断面周长和材料厚度。既然拉深力总是小于危险断面的破断力,加上裕量也就与材料的抗拉强度基本相等,所以其估算公式为

$$F \leq K d \pi t R_m$$

式中 F ——拉深力 (N);

K ——系数,一般取 0.7;

d ——凸模直径 (mm);

t ——材料厚度 (mm);

R_m ——材料抗拉强度 (MPa)。

4.5.3 拉深系数

1. 拉深系数的定义

拉深系数是拉深变形程度的一种度量参数,是用拉深前后拉深件直径(横断面尺寸)的缩小程度来表达的。

第一次拉深的拉深系数为 $m_1 = d_1/D$

第 n 次拉深的拉深系数为 $m_n = d_n/d_{n-1}$

式中 d_1 ——第一次拉深时拉深件直径 (mm);

D ——拉深用毛坯直径 (mm);

d_n, d_{n-1} ——第 n 次、第 $(n-1)$ 次拉深时拉深件的直径 (mm)。

拉深系数越小,变形量越大,拉深越困难。

由前述可知,拉深过程中主要的质量问题是起皱和拉裂,其中拉裂是首要问题。在每次拉深中,既要充分利用材料的最大变形程度,又要防止应力超过材料许可的抗拉强

度极限。零件究竟需要几次才能拉深成形，是一次还是多次，这一问题与极限拉深系数有关。

所谓极限拉深系数，是指在一定拉深条件下，坯料不失稳起皱和破裂而拉深出最深筒形件的拉深系数。极限拉深系数表示了拉深前后毛坯直径的最大允许变化量，是进行拉深工艺计算和模具设计的基础，也是研究板材冲压成形性能的一个重要尺度。极限拉深系数越小，板材的拉深极限变形程度越大。常用材料的极限拉深系数见表 4-10 ~ 表 4-12。

表 4-10 无凸缘筒形件采用压边时的拉深系数一

各次拉 深系数	材料相对厚度 $(t/D) \times 100$					
	<2.0 ~ 1.5	<1.5 ~ 1.0	<1.0 ~ 0.6	<0.6 ~ 0.3	<0.3 ~ 0.15	<0.15 ~ 0.08
m_1	0.48 ~ 0.50	0.50 ~ 0.53	0.53 ~ 0.55	0.55 ~ 0.58	0.58 ~ 0.60	0.60 ~ 0.63
m_2	0.73 ~ 0.75	0.75 ~ 0.76	0.76 ~ 0.78	0.78 ~ 0.79	0.79 ~ 0.80	0.80 ~ 0.82
m_3	0.76 ~ 0.78	0.78 ~ 0.79	0.79 ~ 0.80	0.80 ~ 0.81	0.81 ~ 0.82	0.82 ~ 0.84
m_4	0.78 ~ 0.80	0.80 ~ 0.81	0.81 ~ 0.82	0.82 ~ 0.83	0.83 ~ 0.85	0.85 ~ 0.86
m_5	0.80 ~ 0.82	0.82 ~ 0.84	0.84 ~ 0.85	0.85 ~ 0.86	0.86 ~ 0.87	0.87 ~ 0.88

- 注：1. 本表中小值适用于模具有大的圆角半径 ($R_{\text{圆}} = 8 \sim 15t$)，大值适用于小的圆角半径 ($R_{\text{圆}} = 4 \sim 8t$)。
2. 若采用中间退火工序时，可取比表中数值小 3% ~ 5%。
3. 本表中小值适用于 08、10、15 等普通拉深钢及 H62。对拉深性能较差的材料，如 20、25、Q215、Q235、酸洗钢板、硬铝等，应取比表中数值大 1.5% ~ 2%。对于塑性较好的材料，如 05、08Z、10Z、软铝等，应取比表中数值小 1.5% ~ 2%。

表 4-11 无凸缘筒形件不用压边时的拉深系数二

材料相对厚度 $(t/D) \times 100$	m_1	m_2	m_3	m_4	m_5	m_6
0.4	0.85	0.90	—	—	—	—
0.6	0.82	0.90	—	—	—	—
0.8	0.78	0.88	—	—	—	—
1.0	0.75	0.85	0.90	—	—	—
1.5	0.65	0.80	0.84	0.87	0.90	—
2.0	0.60	0.75	0.80	0.84	0.87	0.90
2.5	0.55	0.75	0.80	0.84	0.87	0.90
3.0	0.53	0.75	0.80	0.84	0.87	0.90
>3.0	0.50	0.70	0.75	0.78	0.82	0.85

注：本表中数值适用于 08、10、15 等塑性较好的材料。

表 4-12 其他金属材料的拉深系数

材料名称	材料牌号	首次拉深系数 m_1	以后各次拉深系数 m_n
铝、铝合金	1035、1235、3A21	0.52 ~ 0.55	0.70 ~ 0.75

(续)

材料名称	材料牌号	首次拉深系数 m_1	以后各次拉深系数 m_n
硬铝	2A11、2A12	0.56 ~ 0.58	0.75 ~ 0.80
黄铜	H62	0.52 ~ 0.54	0.70 ~ 0.72
	H68	0.50 ~ 0.52	0.68 ~ 0.72
纯铜	T2、T3、T4	0.50 ~ 0.55	0.72 ~ 0.80
镀锌薄钢板	—	0.58 ~ 0.65	0.80 ~ 0.85
酸洗钢板	—	0.54 ~ 0.58	0.75 ~ 0.78
镍铬合金	Cr20Ni80Ti	0.54 ~ 0.59	0.78 ~ 0.84
合金钢	30CrMnSiA	0.62 ~ 0.70	0.80 ~ 0.84
不锈钢	06Cr13	0.52 ~ 0.56	0.75 ~ 0.78
	06Cr18Ni9	0.50 ~ 0.52	0.70 ~ 0.75
	06Cr18Ni11Ti	0.52 ~ 0.55	0.78 ~ 0.81

注：1. 当 $(t/D) \times 100 \geq 0.6$ 或 $R_{\text{圆}} \geq (7 \sim 8)t$ 时,拉深系数取小值。

2. 当 $(t/D) \times 100 < 0.6$ 或 $R_{\text{圆}} < 6t$ 时,拉深系数应取大值。

2. 拉深系数的影响因数

(1) 材料相对厚度 $(t/D) \times 100$ 相对厚度越大，拉深时越不易起皱，拉深系数可以趋小。

(2) 材料塑性 材料塑性好，拉深系数可以取小值。材料塑性可由材料的伸长率或由材料的屈强比 R_{eL}/R_m 来表达。

(3) 拉深时是否使用压边圈 用压边圈时，拉深系数可取小值；不用压边圈时，拉深系数应取大值。

(4) 凹模圆角半径 凹模圆角半径大，可以选用较小的拉深系数。但圆角半径数值过大，使拉深材料在压边圈下的面积减小，工件腹部容易发生起皱。

(5) 拉深次数 第一次拉深时，可取较小的拉深系数，以后逐次增大。如果采用中间退火，则可选用较小的拉深系数。

4.5.4 拉深次数与工序尺寸的确定

1. 无凸缘筒形件的拉深次数与工序尺寸计算

在生产实践中，拉深次数在大多数工厂被称作拉深道次。

(1) 无凸缘筒形件的拉深次数的确定 零件能否一次拉出，只需比较实际所需的总拉深系数 $m_{\text{总}}$ 和第一次允许的极限拉深系数 m_1 的大小即可。如果 $m_{\text{总}} > m_1$ ，说明拉深该零件的实际变形程度比第一次容许的极限变形程度要小，所以零件可以一次拉成；否则需要多次拉深，如图 4-33 所示。

(2) 计算多次拉深件的拉深次数的方法有多种 生产中经常用推算法进行计算，就是把毛坯直径或中间工序毛坯尺寸依次乘以查出的极限拉深系数 m_1 、 m_2 、 m_3 、 $\cdots$ 、

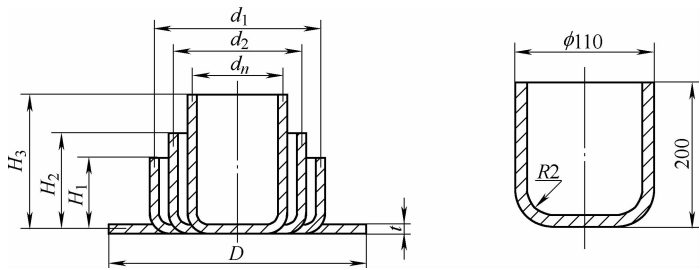


图 4-33 筒形件多道具次拉深

m_n ，得各次半成品的直径，直到计算出的直径 D_n 小于或等于工件直径 d 为止。

(3) 无凸缘筒形件工序尺寸的确定 无凸缘筒形件的工序尺寸的确定包括各次拉深半成品的直径 d_n 小筒底圆角半径 r_n 和筒壁高度。

(4) 半成品的直径 拉深次数确定后，应对各次拉深系数进行调整，总的原则是使每次实际采用的拉深系数大于每次拉深时的极限拉深系数，而且尽量满足下面关系式：

$$m_1 - m'_1 \approx m_2 - m'_2 \approx m_3 - m'_3 \approx \cdots \approx m_n - m'_n$$

式中 $m_1、m_2、m_3、\cdots、m_n$ ——各次极限拉深系数；
 $m'_1、m'_2、m'_3、\cdots、m'_n$ ——各次实际使用拉深系数。

(5) 半成品高度的确定 计算各次拉深后零件的高度前，应先定出各次半成品底部的圆角半径，各次半成品的高度可由各半成品直径和圆角半径求出，计算公式为

$$H_n = 0.25 \left(\frac{D^2}{d_n} - d_n \right) + 0.43 \frac{r_n}{d_n} (d_n + 0.32r_n)$$

式中 d_n ——各次拉深的直径（中线值）（mm）；
 r_n ——各次拉深半成品底部的圆角半径（中线值）（mm）；
 H_n ——各次拉深半成品高度（mm）；
 D ——毛坯直径（mm）。

2. 有凸缘筒形件的拉深次数与工序尺寸计算

有凸缘筒形件的拉深和无凸缘筒形件的拉深的应力状态和变形特点是相同的，其区别是有凸缘工件首次拉深时，坯料不是全部进入凹模口部，只是拉深到凸缘外径等于所要求的凸缘直径（包括修边量）时拉深工作就停止了，凸缘只有部分材料转移到筒壁，因此其首次拉深的成形过程及工序尺寸计算与无凸缘的有一定差别。

(1) 有凸缘筒形件的拉深次数 有凸缘圆筒形件的极限拉深系数比无凸缘圆筒形件要小，它决定于三个因數：①凸缘的相对直径 $d_{凸}/d$ ；②零件的相对高度 H/d_0 ；③底部相对圆角半径 r/d 。其中影响最大的是 $d_{凸}/d$ 。 $d_{凸}/d$ 和 H/d 值越大，表示拉深时毛坯变形区宽度越大，拉深难度越大。而 r/d 值越小，拉深难度越大。表 4-13 列出了有凸缘圆筒形件第一次拉深时的极限拉深系数。表 4-14 列出了有凸缘圆筒形件第一次拉深时

的最大拉深相对高度。

表 4-13 有凸缘筒形件（10 钢）首次拉深时的极限拉深系数

凸缘相对直径 $d_{\text{凸}}/d_1$	毛坯相对厚度 $(t/D) \times 100$				
	2 ~ 1.5	< 1.5 ~ 1.0	< 1.0 ~ 0.6	< 0.6 ~ 0.3	< 0.3 ~ 0.1
≤1.1	0.51	0.53	0.55	0.57	0.59
1.3	0.49	0.51	0.53	0.54	0.55
1.5	0.47	0.49	0.50	0.51	0.52
1.8	0.45	0.46	0.47	0.48	0.48
2.0	0.42	0.43	0.44	0.45	0.45
2.2	0.40	0.41	0.42	0.42	0.42
2.5	0.37	0.38	0.38	0.38	0.38
2.8	0.34	0.35	0.35	0.35	0.35
3.0	0.32	0.33	0.33	0.33	0.33

表 4-14 有凸缘筒形件（10 钢）首次拉深时的最大相对高度 H_1/d_1

凸缘相对直径 $d_{\text{凸}}/d_1$	毛坯相对厚度 $(t/D) \times 100$				
	2 ~ 1.5	< 1.5 ~ 1.0	< 1.0 ~ 0.6	< 0.6 ~ 0.3	< 0.3 ~ 0.15
≤1.1	0.90 ~ 0.75	0.82 ~ 0.65	0.70 ~ 0.57	0.62 ~ 0.50	0.52 ~ 0.45
1.3	0.80 ~ 0.65	0.72 ~ 0.56	0.60 ~ 0.50	0.53 ~ 0.45	0.47 ~ 0.40
1.5	0.70 ~ 0.58	0.63 ~ 0.50	0.53 ~ 0.45	0.48 ~ 0.40	0.42 ~ 0.35
1.8	0.58 ~ 0.48	0.53 ~ 0.42	0.44 ~ 0.37	0.39 ~ 0.34	0.35 ~ 0.29
2.0	0.51 ~ 0.42	0.46 ~ 0.36	0.38 ~ 0.32	0.34 ~ 0.29	0.30 ~ 0.25
2.2	0.45 ~ 0.35	0.40 ~ 0.31	0.33 ~ 0.27	0.29 ~ 0.25	0.26 ~ 0.22
2.5	0.35 ~ 0.28	0.32 ~ 0.25	0.27 ~ 0.22	0.23 ~ 0.20	0.21 ~ 0.17
2.8	0.27 ~ 0.22	0.24 ~ 0.19	0.21 ~ 0.17	0.18 ~ 0.15	0.16 ~ 0.13
3.0	0.22 ~ 0.18	0.20 ~ 0.16	0.17 ~ 0.14	0.15 ~ 0.12	0.13 ~ 0.10

- 注：1. 本表中数值适用于 10 钢，对于比 10 钢塑性更大的金属取接近于大的数值，对于塑性较小的金属，取接近于小的数值。
2. 本表中大的数值适用于大的圆角半径，从 $(t/D) \times 100 = 2 \sim 1.5$ 时的 $r = (10 \sim 12)t$ 到 $(t/D) \times 100 = 0.3 \sim 0.15$ 时的 $r = (20 \sim 25)t$ 。本表中小的数值适用于底部及凸缘小的圆角半径， $r = (4 \sim 8)t$ 。

凸缘相对直径增大时，坯料直径也相应增大，因而拉深系数的减小并不意味着变形程度的增加。由于凸缘外径在以后各次拉深中保持不变，故后道工序的许用拉深系数与

凸缘相对直径无关。

在首道工序以后的各道次拉深间安排了退火的情况下，其后的各次拉深系数可减小 5% ~ 8%。

判断有凸缘筒形件能否一次拉出，只需比较零件总拉深系数 $m_{\text{总}}$ 和表 4-13 中第一次允许的极限拉深系数 m_1 的大小即可。也可比较零件总的相对高度与表 4-14 中第一次拉深时的最大相对高度 H_1/d_1 。如果满足 $m_{\text{总}} > m_1$ 或 $H/D > H_1/d_1$ ，则零件可以一次拉成；否则，需要多次拉深。凸缘的外缘部分只在首次拉深时参与变形，有凸缘的工件若多次拉深，其以后各次拉深与无凸缘的相同。

(2) 有凸缘筒形件的工序尺寸的确定 有凸缘筒形件的工序尺寸的确定仍可以采用推算法。具体的做法：先假定 $d_{\text{凸}}/d$ 的值，从表 4-13 中查出第一次拉深系数 m_1 ，利用公式 $d_1 = m_1 D$ 、 $d_2 = m_2 d_1$ 、 $d_3 = m_3 d_2$ 、 $\cdots$ 、 $d_n = m_n d_{n-1}$ ，依次计算各次拉深直径 d ，直至 $d_n \leq d$ （工件的直径）为止， n 即为拉深次数；然后修正各次拉深系数。有凸缘圆筒形以后各次极限拉深系数 m ，可按无凸缘筒形件表 4-10 和表 4-11 中的最大值来取，或略大些。

(3) 有凸缘圆筒形工件工序安排方法 有凸缘圆筒形可以分为两类，窄凸缘件 ($d_{\text{凸}}/d_1 < 1.1 \sim 1.4$) 和宽凸缘筒形工件 ($d_{\text{凸}}/d_1 > 1.4$)。

1) 对多次拉深的窄凸缘筒形件，有两种方式可供选择：

①可在前几道拉深时按无凸缘进行拉深，在最后两次拉深时拉出带锥形的凸缘，最后校平，如图 4-34 所示。

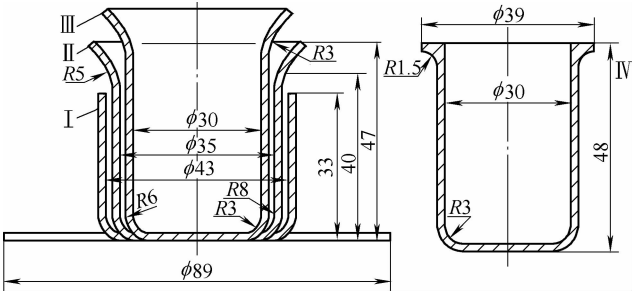


图 4-34 窄凸缘筒形件的多次拉深（I ~ IV 为拉深工序）

②在产品批量较大的情况下，仍按宽凸缘工件处理，工件成形后再将多余的部分切除。在不锈钢制品生产企业大多数采用这种处置方式。这样做的好处是，在液压机上作无凸缘件拉深时，在拉深终止阶段，凸缘部分全部转变为直壁，压力突然解除，油管内的流体在惯性的作用下产生水锤压力，其冲击力对于液压元件的密封造成危害。按宽凸缘工件来处理窄凸缘拉深，可避免这种隐患。

多道次拉深的宽凸缘筒形工件，应在首次拉深时就把凸缘拉到尺寸，这是因为在后道拉深中，凸缘位置已失去压边力。为了防止以后的拉深把凸缘拉入凹模（这时凸缘

稍有受力即会发生皱褶,加大筒壁受力而出现拉裂的风险),通常第一次拉深时拉入凹模的坯料比所需的加大3%~5% (注意此时计算坯料时作相应的放大),而在第二次、第三次多拉入1%~3%,多拉入的材料会逐次返回到凸缘上,这样凸缘可能会有微量的变厚,但不会影响工件的质量。

2) 宽凸缘工件的拉深方法有以下两种:

①如图4-35a所示的方法适用于中、小型工件的拉深。用这种方法拉深的工件在凸缘平面上易留下痕迹,需要有整形工序。

②如图4-35b所示的方法适用于直径大于200mm的大型工件,这种方法适用于毛坯的相对厚度较大,在第一次拉深大圆弧曲面时不会发生起皱的情况。

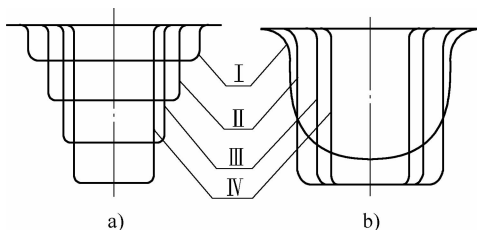


图4-35 宽凸缘筒形件的多次拉深
(I~IV为拉深工序拉深)

4.5.5 曲面旋转体拉深

1. 阶梯圆筒形零件的拉深

阶梯圆筒形件(见图4-36)相当于若干个直壁圆筒形件的组合,所以与直壁圆筒形件的拉深基本相似,每一个阶梯的拉深即相当于相应的圆筒形件的拉深。但阶梯圆筒形件拉深工艺的设计与直壁圆筒形件有较大的差别。

(1) 拉深次数的确定 判断阶梯形件能否一次拉成,可用下式来判断:

$$\frac{h_1 + h_2 + h_3 + h_n}{d_n} \leq \frac{h}{d_N}$$

式中 $h_1, h_2, \dots, h_n$ ——各个阶梯的高度(mm);

d_n ——最小阶梯直径(mm);

h/d_N ——直径为 d_N 的圆筒形件第一次拉深时的最大相对高度(mm)。

如果上述条件不能满足,则需多次拉深。

(2) 多次拉深时拉深方法的确定 如果两个相邻阶梯的直径之比 d_n/d_{n-1} 大于相应的圆筒形件的极限拉深系数,则先从大阶梯拉起,每次拉深一个阶梯,逐一拉深到最小的阶梯,阶梯数也就是拉深次数,如图4-37所示。如果阶梯形件较浅,而且每个阶梯的高度又不大,但相邻阶梯直径相差较大,而又不能一次拉出时,可先拉成圆形或带有大圆角的筒形,最后通过整形得到所需零件,如图4-38所示。如果最小阶梯直径过小,拉深高度又较大时,最小阶梯可用起凸的方法得到,即先将制件顶部压制出小鼓包,然后再将凸起部分整理成圆柱形,如图4-39所示。也可以在拉深 $n-1$ 道的凸模顶部留出小凸台,然后再将凸台拉深成管状。

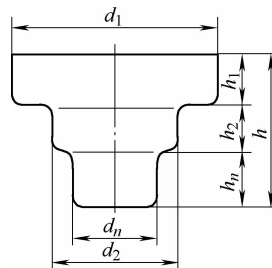


图4-36 阶梯圆筒形零件

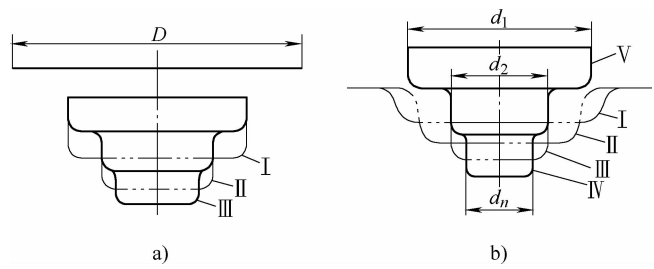


图 4-37 阶梯筒形件拉深次序

a) 由大直径到小直径 b) 由小直径到大直径

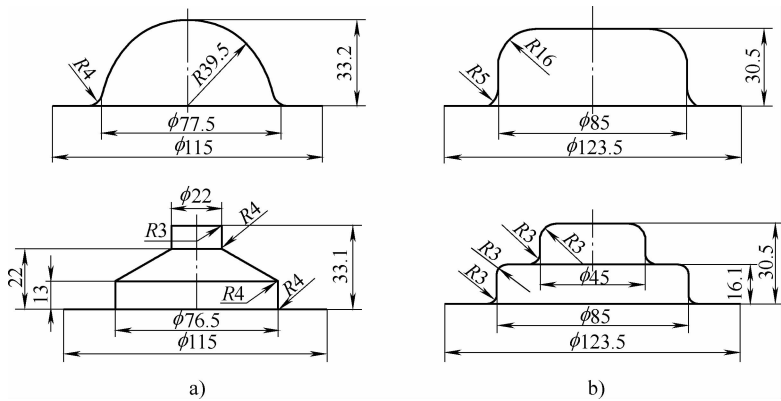


图 4-38 浅阶梯形件的拉深方法

a) 球面形状 b) 大圆角形状

2. 球面形状的拉深

球形零件与下面将要介绍的锥形件拉深存在共同点：凸模顶端无平面或平面面积很小，悬空面积大，拉深过程中容易发生腹部起皱现象。

球形零件有半球形件、浅球形件、带直壁球形件和带凸缘球形件几类，如图 4-40 所示。工件相对厚度较小（ $t/D < 0.02$ ）或球心角较大（ $\alpha > 45^\circ$ ）时，拉深后回弹严重。

半球形件的拉深系数 m 为

$$m = \frac{d}{D} = \frac{d}{\sqrt{2}d} = 0.71$$

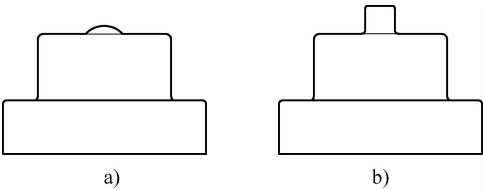


图 4-39 大直径差工件拉深

a) 起凸 b) 拉深

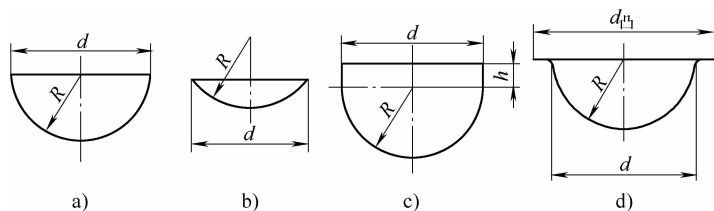


图 4-40 图球面零件类型

a) 半球形件 b) 浅球形件 c) 带直壁球形件 d) 带凸缘球形件

它是一个与零件直径无关的常数。所以，拉深系数不能反映半球形件拉深难易程度。决定半球形件拉深难易程度及选择拉深方法的主要依据是毛坯的相对厚度 t/D 。在实际生产中，可参考以下原则选择合理的拉深方法：

1) 当 $t/D > 0.03$ 时，可不用压边装置一次拉深成功。用这种方法拉深，坯料贴模不良，仍可能起小皱，所以必须用球形底的凹模，在拉深工作行程终了时进行校正，如图 4-41a 所示。

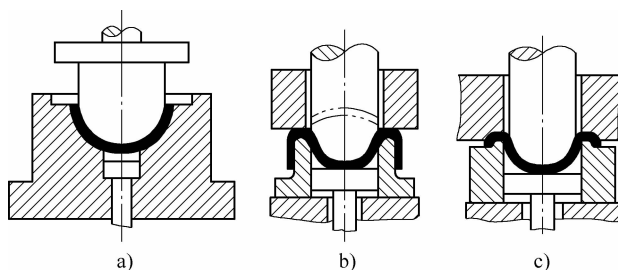


图 4-41 半球形工件拉深

a) 带整形 b) 反拉深 c) 带拉深肋

2) 当 t/D 为 $0.03 \sim 0.005$ 时，需采用带压料装置的拉深模进行拉深，以防止起皱。球形零件拉深凹模圆角较筒形件小，一般取 $R_{凹} = 4t$ 。

3) 当 $t/D < 0.005$ 时，应采用有拉深肋的拉深模或反拉深法进行拉深，如图 4-41b、图 4-41c 所示。

4) 当球形拉深件带有一定高度的直壁或带有一定宽度的凸缘时，虽然拉深系数有所减小，但对球面的成形却有好处。同理，对于不带凸缘和不带直边的球形拉深件，当表面质量和尺寸精度要求较高时，可加大坯料尺寸，形成凸缘，在拉深之后再用切边的方法去除。

3. 锥形零件的拉深

如图 4-42 所示的各种锥形件，由于零件各部分尺寸比例不同，其拉深的难易程度和拉深方法有较大的区别。

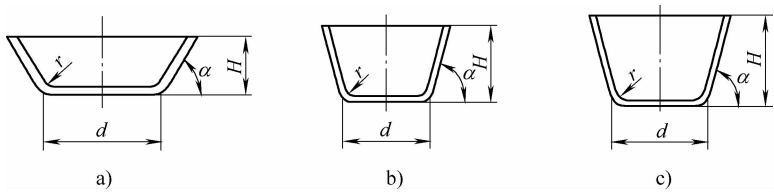


图 4-42 不同侧素线锥角的锥形件

a) 低锥形件 b) 中等深度锥形件 c) 高锥形件

一般来说，锥形件的变薄主要集中在零件底部的圆角处，尤其当圆角较小时。从凸模底部的圆角和半球形凸模相比，锥形件的成形条件比球面形件差。

锥形件拉深方法的选择取决于锥体高度、直径与斜角 α 等，可分为以下三种情况：

1) 相对高度 $H/D \leq 0.25$ 和 α 为 $50^\circ \sim 80^\circ$ 的低锥形件，如图 4-42a 所示。由于拉深时，毛坯的变形程度不大，拉深后回弹较大，为减小回弹常使用带拉深肋的拉深模，如图 4-43 所示。通常这类工件只需一次拉深。对于不带凸缘的锥形件，可以适当增加毛坯尺寸，待工件成形后切去，或使用液体和橡胶代替凸、凹模拉深。

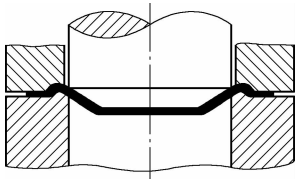


图 4-43 带拉深肋的锥形件拉深

2) 中锥形件 ($h/d_2 = 0.3 \sim 0.7$) 按毛坯相对厚度不同，可分为以下三种情况：①当 $t/D > 0.025$ 时，可一次拉深成形，且不需要压边，只需要在行程末用凹模进行校正整形，如图 4-44 所示；②当 t/D 为 $0.015 \sim 0.025$ 时，可采用压边装置一次拉深成形，但对无凸缘零件应按有凸缘零件拉深，最后修边，切去凸缘；③当 $t/D < 0.015$ 时，因材料较薄，易于起皱，一般应采用压边装置并经过两次或三次拉深成形，第一次拉深成带有大圆角圆筒形件或球形件，然后再采用或反拉深成形，如图 4-45 所示。

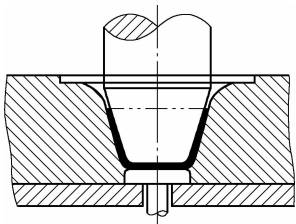


图 4-44 无压边圈锥形件拉深

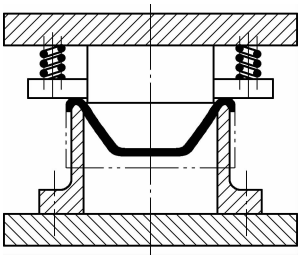


图 4-45 反拉深锥形件

锥形凸模在拉深过程中有减小材料弯曲力的作用，这是工件腹部起皱的主要原因，因此设计时拉深凹模圆角取小值，一般取 $R_{凹} = (2 \sim 4) t$ ，试模时再根据需要逐步加大。

3) 深锥形件 ($h/d_2 > 0.7$)，因变形程度大，容易产生变薄、破裂、起皱等现象，所以必须经过多次拉深成形。常用的拉深方法如下：

① 阶梯拉深法。这种方法是将坯料逐次拉深成阶梯形，要求阶梯形的过渡毛坯应与锥形成品内侧相切，最后在成形模具中精整成形，如图 4-46a 所示。

② 锥形表面逐步成形法。这是目前应用较多的方法。这种方法先将毛坯拉成圆筒形，使其表面积等于或大于成品圆锥表面积，而直径等于圆锥大端直径，以后各道工序逐步拉出圆锥面，使其高度逐渐增加，最后形成所需的圆锥形，如图 4-46b 所示。这种成形法的缺点是由于杠杆挠曲力的作用导致工件外观面上留有弯折痕迹，且不易消除。如果条件允许，这种件的成形还是改为扇形落料→滚圆→焊接的工艺更为简单。

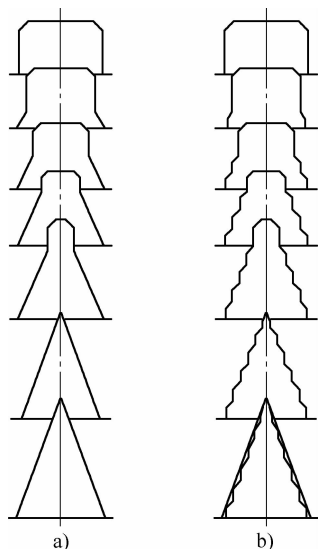


图 4-46 深锥形件的拉深

a) 阶梯拉深法 b) 锥面逐步成形法

4.5.6 拉深槛与拉深肋

1. 拉深槛与拉深肋的作用

(1) 增加进料的阻力 由于有拉深肋（或拉深槛），压边圈下面的毛坯经过反复弯曲变形，增加了毛坯向凸模流动的阻力，加大了径向拉伸应力，使毛坯的塑性变形量增大，从而提高拉深件的刚度。

(2) 使各处进料阻力均匀 在矩形件拉深中，由于直线部分的进料阻力小，而圆角部分进料阻力大，若在直线部分放置拉深肋，则可使直线和圆角部分阻力相同，进料均匀，防止工件起皱。

(3) 降低了对压边面接触的要求 有了拉深肋，可以减小压边面的接触状态对拉深的影响，降低对压边面的要求。如不用拉深肋，不仅对压边面要求高，而且压边面容易磨损，影响拉深件品质。

(4) 简化压边力调整 在单动压力机上调整气垫压力，在双动压力机上调整外滑块各角的高低，只能粗略地调整压边力，并不能完全控制各处进料量符合拉深件变形要求，故而采用拉深肋辅助调节各处压边力，模具的制作与调整可以相对粗放一些，并且能较快地达到目的。

2. 拉深槛与拉深肋的区别

在旋转体工件拉深中，拉深槛与拉深肋都常用于压边悬空面积较大情况下锥形、球形曲面工件的拉深。拉深槛与拉深肋的不同之处在于，拉深槛的边线、圆角和平面是与凹模圆角共同组成一对起伏的结构形式，拉深肋则是由自身的轮廓线组成一对起伏的结构形式，所以拉深槛形成的阻力比拉深肋小；拉深槛剖面的起点一般呈梯形，而拉深肋有梯形、弧形、半圆形等多种形式。

与拉深肋相比，带拉深槛的拉深模的优点是，材料通过拉深槛后，可以部分或全部进入凹模，达到节约材料的目的，如图 4-47 所示。

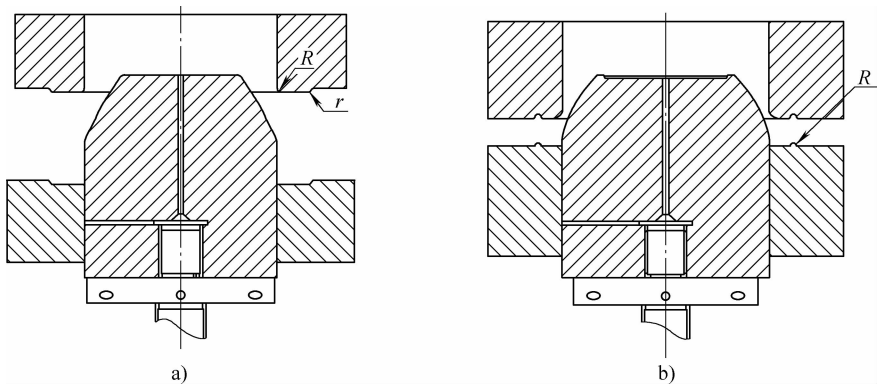


图 4-47 带拉深槛与拉深肋的拉深模
a) 拉深槛 b) 拉深肋

3. 拉深槛

(1) 拉深槛设计参数 带拉深槛的拉深模，适合于弧（球）面或锥形高度大于工件总高度的 1/3 但小于或等于其 1/2 的工件拉深，如图 4-48 所示。

通常，拉深槛参数如下：

- 1) 坡度为 $60^{\circ} \sim 45^{\circ}$ 。
- 2) 高度 H 为 $6t \sim 10t$ 。
- 3) 圆角半径为 $\frac{R_{凹}}{2}$ 。
- 4) 轴向间隙为 0.02mm 。
- 5) 凸、凹模间隙为 $1.1t \sim 1.5t$ 。
- 6) 宽度最小应是高度的 2 倍，最大时可取到产品凸缘宽度的 2/3。

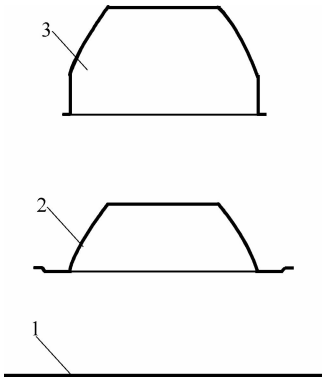


图 4-48 带拉深槛模具的拉深过程
1—圆坯片 2—拉深高度 $\geq 1/2$ 工件总高度时的状态 3—拉深终止

(2) 拉深槛的平面配合 在采用拉深槛的拉深模具中，凸缘面的压边，仍应以拉深槛以外的大平面为主。这是因为，起皱一旦形成，仅靠拉深槛是很难将其勒平的，如果外缘不起皱，拉深槛范围以内的部分也就不容易起皱。基于此，拉深槛凸、凹面之间的轴向间隙要比外缘部分大 $0.01 \sim 0.03\text{mm}$ 。

加工拉深槛的轴向间隙时可以采用涂红法检查。将涂有红印油的凹模与压料圈相互叠合，转动凹模，观察到拉深槛的平面上有拉动的纤维样痕迹即可。也可用 0.02mm 塞尺塞入凸、凹面之间检查，当薄片能够插入，移动时感觉发涩，即可认为合格。

4. 拉深肋

(1) 拉深肋的应用范围 拉深肋适用于以下场合：

- 1) 旋转体的球面或锥形面高度大于工件总高度的 $2/3$ 。
- 2) 盒形件或棱台体拉深。
- 3) 大幅面覆盖件拉延。

(2) 拉深肋剖面形状 拉深肋断面形状有半圆形、弧形和梯形三种。弧形断面高度、宽度 B 的取法与梯形断面相同。半圆形断面 $R = R_{\text{凹}}$ 。梯形的坡角可取 45° 或 60° ，圆角半径 r_1 取 $R_{\text{凹}}$ 的 $1/2$ ，高度取 $(5 \sim 6)t$ ，宽度 B 根据工件的变形程度大小来设置，一般取为 $12t \sim 20t$ ，但高度 $\leq 1/2B$ 。拉深肋断面形状如图 4-49 所示。

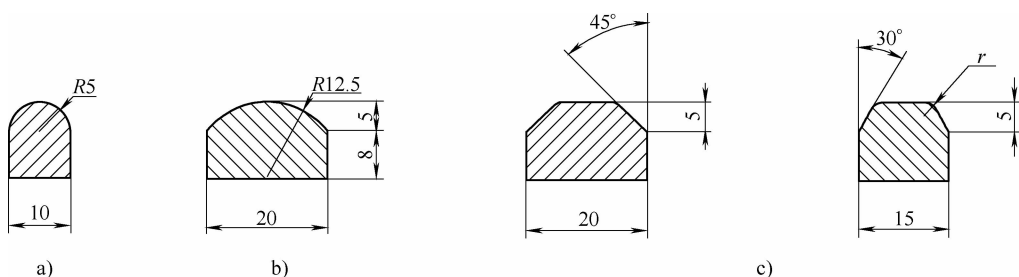


图 4-49 拉深肋断面形状

a) 半圆形 b) 弧形 c) 梯形

(3) 拉深肋的装配形式

1) 拉深肋的装配形式有整体式和嵌入式两种。整体式拉深肋一般只用在旋转体拉深模上。整体式拉深肋与压边圈、凹模的压边凹槽都是连同本体一起加工的，制造成本高，调整与维修困难，如图 4-50 所示。嵌入式拉深肋可以采用比凹模或压料圈本体更高一级的材料制作，并可经热处理提高硬度。嵌入式拉深肋调整与维修方便，其结构如图 4-51 所示，尺寸可参考表 4-15。

2) 与拉深肋相对应的凹槽，其两侧的圆角半径 R 是材料流入与流出的必经通道，属于关键数据。首次加工时 $R \leq 0.5R_{\text{凹}}$ 。

3) 为试模时调整方便，以倒装拉深模为例，一般将拉深肋设置在压边圈上，拉深槽设

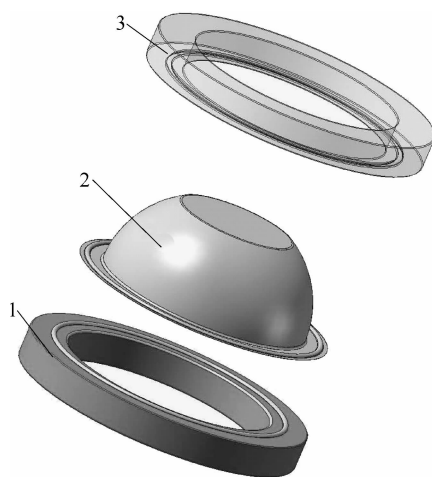


图 4-50 整体式拉深肋

1—压料圈 2—拉深件 3—凹模

置在凹模上。

表 4-15 拉深肋结构尺寸 (单位: mm)

名 称	W	d	h	h_1	K	R	L_1	L_2
半圆形拉深肋	12	M6	12	6	6	6	15	25
	16	M8	16	7	8	8	17	30
	20	M10	20	8	10	10	19	35
弧形拉深肋	12	M6	11	6	5	6	15	25
	16	M8	13	7	6.5	8	17	30
	20	M10	15	8	8	10	19	35
梯形拉深肋	12	M6	11	6	5	3	15	25
	16	M8	13	7	6.5	4	17	30
	20	M10	15	8	8	5	19	35

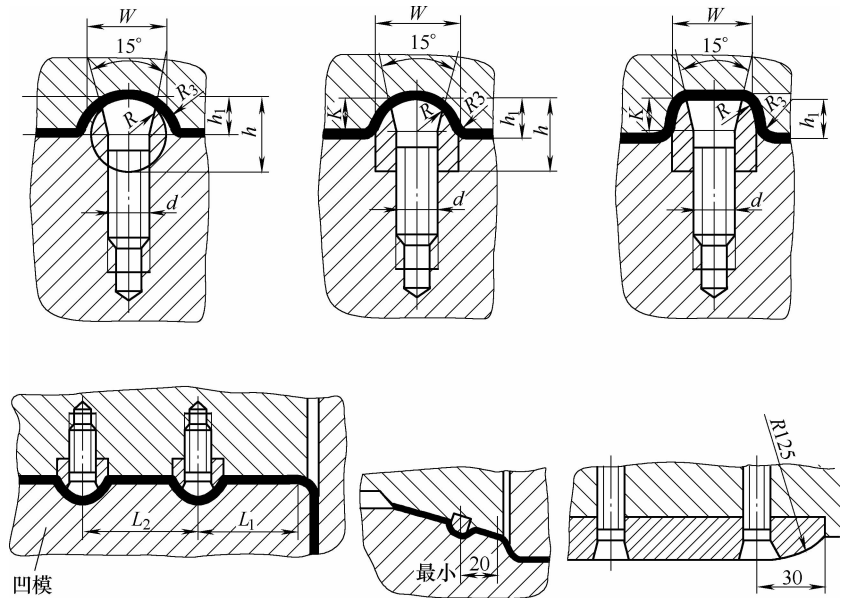


图 4-51 用于覆盖件的嵌入式拉深肋 (压边圈、凹模材料为合金铸铁或铸钢、锻钢)

(4) 拉深肋的布置原则 拉深肋的数目及位置主要根据拉深件外形、起伏特点及深度而定，其原则如下：

- 1) 拉深深度大的工件在直线部位安置拉深肋，而在圆弧部位不设拉深肋。
- 2) 同一工件拉深深度相差大时，在深的部位不设拉深肋，在浅的部位设拉深肋。
- 3) 拉深肋的位置要保证与材料流动方向垂直，如图 4-52 所示。
- (5) 拉深肋的参数选取 要考虑的因素如下：

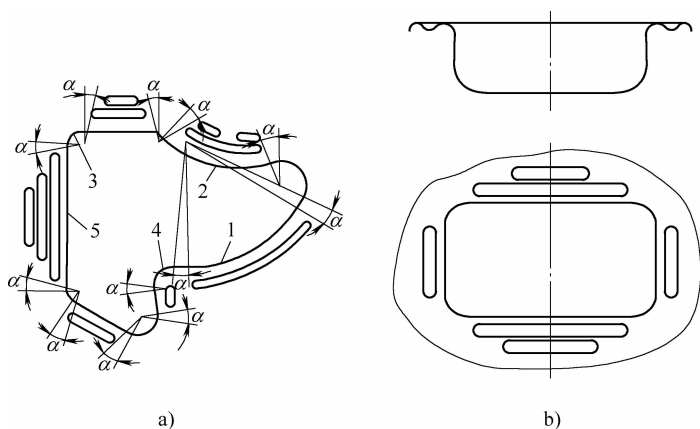


图 4-52 拉深肋布置

a) 凹模口形状与拉深肋布置 ($\alpha = 8^\circ \sim 12^\circ$)

b) 汽车油箱拉深模拉深肋布置实例

1) 材料厚度、工件幅面宽度(对向拉深肋之间的宽度)和变形程度,这三个数值越大,拉深肋的高度越大。换言之,拉深材料越厚、拉深深度越深、拉延件幅面越宽,所需要的阻力或预加张紧力越大,拉深肋的外形尺寸也就越大。

2) 凹槽断面。实践证明,拉深肋所能给出的阻力来自于材料在受压状态下通过拉深肋时反复弯曲的变形力,其预加张紧力则来自于拉深肋对材料产生压力之前对材料的局部拉深产生的变形。拉深肋阻力的大小,与高度、侧向间隙、入料角、出料角大小关系密切,而与凹槽深度的关系不大。在模具运行中,材料在外侧方向总是紧贴拉深肋,在内侧方向紧贴凹模。模具加工过程中,能做到材料与拉深肋两表面同时完好的接触是十分困难的,而且既无此必要,又会极大地增加制作难度,延长试模周期。因此,大多数技术人员在设计时,是将与拉深肋对应的凹槽断面做成矩形的,如图 4-53 所示。将这一点单独提出有更深一层的意义:在制作、安置拉深肋的凹槽时,可先将深度值取大一些,拉深肋的高度取上限,然后根据试模结果对拉深肋高度进行修正,直到拉深出满意的工件为止。

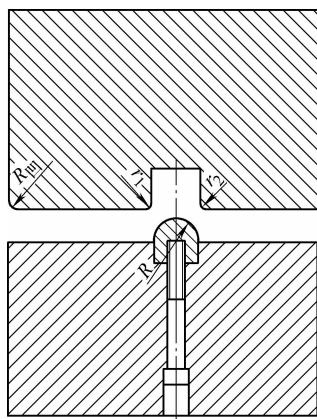


图 4-53 拉深肋与凹槽断面

3) 嵌入式拉深肋结构形式。矩形件边长较大时,拉深肋做成中凸形,效果更好,如图 4-54 所示。嵌入式拉深肋终端须根据工件截面来决定尾端设置:所对应的工件截面为梯形成的,拉深肋做成梢尾,长度与斜面的



图 4-54 中凸拉深肋

水平距离一致，如图 4-55a 所示；所对应的工件截面为矩形的，拉深肋不做梢尾，而以半球形作为终端，如图 4-55b 所示。

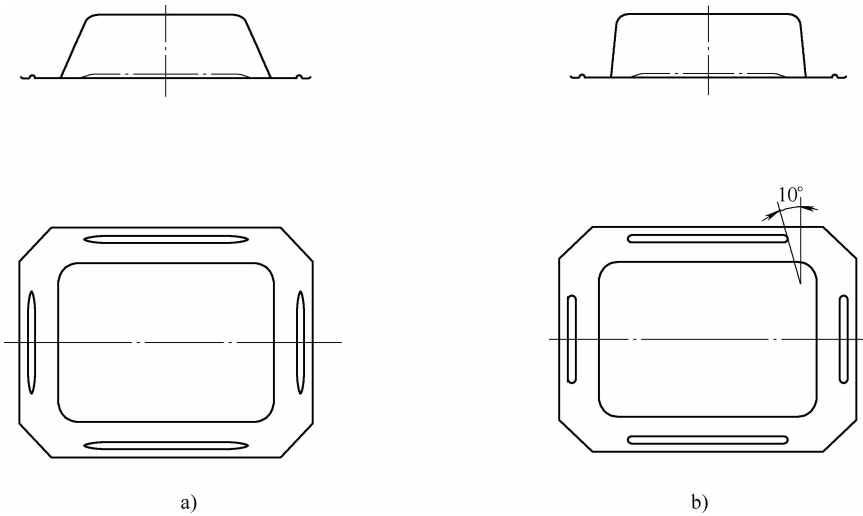


图 4-55 图拉深肋终端梢尾设置
a) 带梢尾 b) 不带梢尾

4) 宽度。从前面的论述中可以得出拉深模的设计原则是：在材料不爆裂、不起皱的前提下，压得紧、走得动。拉深肋的宽度与高度的比例对于压料面的阻力有重大的影响。高度不变时，宽度趋大，其阻力在一定范围内趋小。需要“压得紧”时，只需加大工作压力即可；需要走得动时，加大拉深肋的宽度或降低拉深肋的高度是常用的方法。这一点对于相对厚度较小的拉深件来说，有十分重要的意义。对于有些幅面较宽的拉伸件来说，变形程度不大，但要求在拉伸开始前材料就处于张紧状态；此时加宽拉深肋的宽度，增加拉伸开始前参与变形材料的量，有助于材料张紧，同时，较宽的弧顶曲面减小了材料摩擦的压强，为走得动提供了条件。半圆形拉深肋的高度与宽度之比总是 $1/2$ ，不因 R 尺寸大小而改变。弧形和梯形拉深肋的宽度，根据工件的变形幅面和变形程度来选择，一般取为高度的 $3 \sim 6$ 倍。宽度大于高度的 6 倍，则占用凹模和压料圈空间太多，此时可用增、减高度的方法来调整压料力的大小。

5) 高度。拉深肋的工作高度 $h \geq 5t$ ，一般取为 $5t \sim 14t$ ，以 $6t \sim 8t$ 居多； $h < 5t$ 时，旋转体拉深模可改用拉深槛代替。对于汽车工业的拉伸模，则视拉深肋所负担的幅面大小，高度有可能达到 $14t$ 以上。对于难于成形的工件，拉深肋的高度应与侧壁的变形量相适应；变形量大时，拉深肋高度也应加大，反之亦然。在调试大型覆盖件拉深时，如果拉深肋高度超过宽度的一半仍不能提供足够的压边力，就应当考虑再增设一条拉深肋或是增大拉深肋的规格。因此，覆盖件拉深模上安置的拉深肋在投入批量生产前是不进行热处理的。

6) 埋入深度。盒形件的拉深肋一般都采用分立元件。相对于大型厚料的拉深模具而言,拉深肋埋入深度不小于宽度的 $1/3$, 小型工件拉深肋埋入深度绝对值不小于 4mm 。

7) 间隙。拉深肋与凹槽单边间隙 $1.1t \sim 1.5t$, 通常取 $1.2t$ 。

8) 长度。拉深肋的长度并不要求完全抵达直边与圆弧的交点, 可以缩短从圆弧的原点算起至拉深肋中线 $8^\circ \sim 12^\circ$ 的距离, 一般取到 10° 的位置。材料相对厚度小、深度大的取小值, 反之取大值, 如图 4-55b 所示。

(6) 安装方法 拉深肋尽可能采用反向吊装。这样, 加工、装拆和修复都比较方便, 也不存在螺栓头部出现凹坑的问题。当感觉到有必要将拉深肋抬高或降低时, 可在槽内加减垫片来进行微调, 如图 4-56 所示。

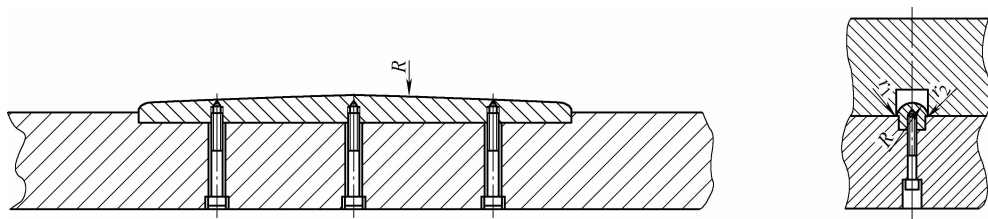


图 4-56 反向吊装拉深肋

(7) 拉深肋的制作 环带型嵌入式拉深肋, 可用合金钢或中碳钢成形料先行倒角, 滚弯, 然后安装到凹模或压料板工作面上; 直条拉深肋一般先将长条料的断面形状加工成形, 然后分段截取, 各自加工端头圆角或梢尾、嵌入工作面。

(8) 试模中拉深肋的调整 试模过程中, 嵌入式拉深肋可以修整高度或者是通过增加或减少垫片的厚度来调整材料流动阻力, 也可以通过改变拉深肋的剖面形状来调整进料阻力。需要注意的是, 拉深肋每次修改过后, 都应将表面抛光到要求的精度, 不可以草率从事, 因为不同的表面粗糙度所能提供的进料阻力是大不一样的。

4.5.7 多道次拉深系数的积

目前情况下, 大多数厂家仍不具备真空退火、表面酸洗、磷化等一系列工艺处理条件, 而人们总是希望用较少的工作量获得工件。

大量数据与经验表明, 多道次拉深系数的积是一个常数。实质上, 首道以后的拉深系数, 主要是取决于材料的冷作硬化程度。

在生产中, 人们往往在首道以后的拉深中不敢采用较小的拉深系数。例如, 连续三道拉深的系数分别为 0.52 、 0.8 、 0.8 , 则三道拉深系数相乘得 0.3328 。在条件受限的情况下, 也可以改为以下模式:

$$0.65 \times 0.65 \times 0.73 = 0.3328$$

又如, 某款保温咖啡壶, 要求出水口与内径为 16mm 的硅胶管相接, 具体尺寸为 $\phi(16.2 + 0.4)\text{mm}$, 弧顶大径为 160mm , 预留台阶直径为 44mm 。

我们预计工件顶部有少量不圆整，为了抵消这部分的影响，故取首次拉深系数为 0.78，二道取 0.6，三道取 0.8。计算式为

$$44\text{mm} \times 0.78 \times 0.6 \times 0.8 = 16.47\text{mm}$$

投产后工作稳定可靠。事实证明，以上的推论是成立的。

4.5.8 拉深模中的数据关联性

在拉深工艺中，压边宽度 $\frac{d_0-d_1}{2}$ 、压料力 F_y 、凹模圆角半径 $R_{凹}$ 、凸模圆角半径 $r_{凸}$ 、材料的抗拉强度 R_m 和拉深系数 m ，这几个重要因素实际上是相辅相成或互相制约的。

事实上，材料一经选定，其抗拉强度 R_m 是不变的，压料力则是随机可调的，于是设计者的主要工作就是在压料边宽、拉深系数和凹模、凸模的圆角大小之间寻找平衡点，而在试模时调整压边力大小以求得这种平衡。

将压边宽度、压料力、凹模圆角半径 $R_{凹}$ 、凸模圆角半径 $r_{凸}$ 、拉深系数列表，不难得出如下结论：

- 1) 凸、凹模圆角半径越大，坯料流动性越好，工件破损概率越小，但起皱的概率增大。
- 2) 压边宽度越大，材料向凸模方向贴模性能越好，起皱的可能性越小，但拉破的可能性越大。
- 3) $R_{凹}$ 越小，材料贴模性越好，起皱的可能性概率下降，拉破的可能性概率上升。
- 4) $R_{凹}$ 越大，材料冷作硬化程度越小，拉深系数趋小。

在拉深模零部件的加工精度、热处理硬度和表面粗糙度都能得到保证的前提下，拉深模的设计过程，就是从表 4-16 数据的关联中获得平衡的过程。拉深模的设计中的五个关键数据和两种结果的相互关系见表 4-16。

表 4-16 拉深模关键数据的相互关系

名称		拉深系数 m		凹模圆角 半径 $R_{凹}$		凸模圆角 半径 $r_{凸}$		压边力 F_y		压边宽度 $\frac{d_0-d_1}{2}$		起皱概率		破损概率	
		大	小	大	小	大	小	大	小	大	小	大	小	大	小
拉深系数 m	大				●		●		●		●		●		●
	小			●		●		●		●		●		●	
凹模圆角 $R_{凹}$	大		●				●	●		●		●			●
	小	●				●			●		●		●	●	
凸模圆角 $r_{凸}$	大		●		●			●		●		●			●
	小	●							●		●		●	●	
压边力 F_y	大		●	●		●					●		●	●	
	小	●			●		●			●		●			●

(续)

名称		拉深系数 m		凹模圆角 半径 $R_{凹}$		凸模圆角 半径 $r_{凸}$		压边力 F_y		压边宽度 $\frac{d_0 - d_1}{2}$		起皱概率		破损概率	
		大	小	大	小	大	小	大	小	大	小	大	小	大	小
名称	压边宽度 $\frac{d_0 - d_1}{2}$	大	●	●		●			●				●	●	
	小	●			●		●	●				●			●
起皱概率	大		●	●		●			●		●				
	小	●			●		●	●		●					
破损概率	大		●		●		●	●		●					
	小	●		●		●			●		●				

注：●表示可以或必然。

熟练领会运用表 4-16，就可以根据产品需求，将模具生发出种种变化来适应工艺需要，从而制造出合格的产品。

4.5.9 典型拉深件工艺

1. 流线型工件拉深

(1) 流线型（尖头鼓肚）类工件的拉深 可以采用从内到外拉深法。与传统的由外向内拉深方法相比，从内向外拉深法有以下优点：

- 1) 充分利用了拉深开始时压边面积较大这一优势，工件外形饱满，表面顺滑光洁，没有凹模圆角半径卷折痕。
- 2) 节省材料。
- 3) 工艺路线比传统拉深方法短。

(2) 示例 以某款警车车灯外壳为例，流线型工件主体部分拉深的道次计算顺序如下（见图 4-57）：

- 1) 按最大允许变形程度计算出尖顶部分的最大直径。削去此尺寸，令初级成形坯件成为平顶。
- 2) 凸模的 $r_{凸}$ 不能过大，尽可能保持顶部材料变薄量最小。
- 3) 以最大允许拉深高度为依据取 0.8 ~ 0.75，反向推算首次拉深模直径。
- 4) 以工件最大外径计算尺寸，作为二道拉深 $R_{凹}$ 的起点。
- 5) 按 $r_{凸}$ 的 2.5 ~ 3 倍给出凹模的 $R_{凹}$ 。
- 6) 如果下道工序采用硬模胀形法来保证工件的圆整和表面光洁，则第 $N - 2$ 道凹模直径应比图示尺寸减小 6% ~ 10%。

7) 在第 $N - 1$ 道工序结束后工件的外形、尺寸均应达到图示要求，这一道的凹模圆角可按正常方法取值或略小，目的是为从凸缘位置获得较大的阻力，以保证肩部和腹部形状饱满。

8) 第 N 道仍用前道凸模和凹模, 此时工件可拉深至完全无压边料。

9) 顶出成形。当主体部分完工后, 可分两三次将工件头部顶出成形。

从拉深模中的数据关联中我们知道, 同样条件下凹模圆角半径越大拉深系数可以越小。在从内向外这种方法中为了减少拉深道次, $N-2$ 道拉深以前的凹模圆角半径可以取到正常拉深时的 $4 \sim 8$ 倍。

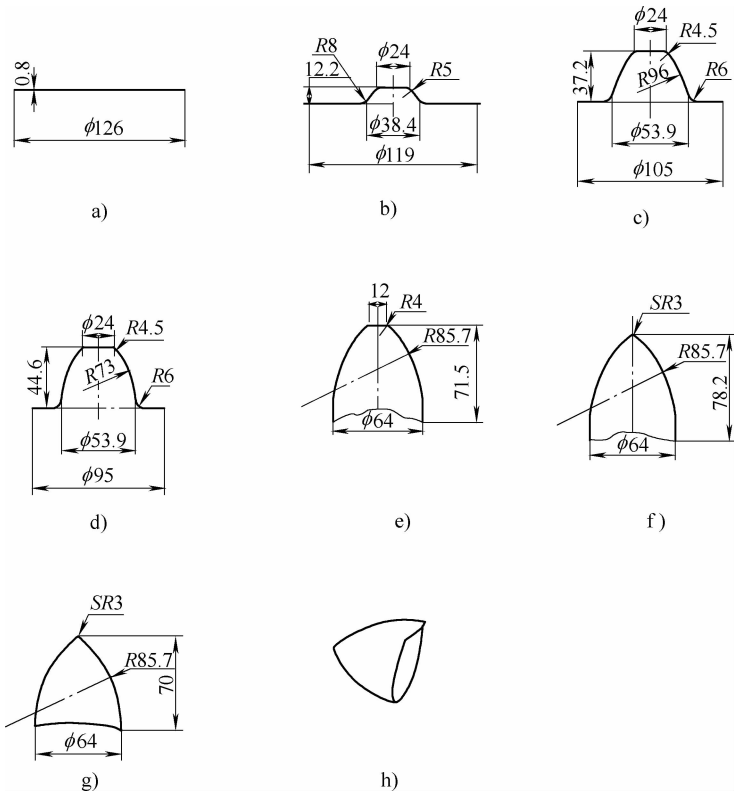


图 4-57 某款警车车灯的拉深流程

a) 落料 b) 首道拉深 c) 二道拉深 d) 三道拉深 e) 四道拉深
f) 五道拉深 (由内向外) g) 剪边 h) 成品

2. 从内部获取材料成形凸台或凹坑

有较多的工件, 在首道或多道拉深后, 需要在顶部或上平面内的中心生成一个凸台或凹坑, 且凸台或凹坑中央有一穿透的孔洞, 这类零件可以通过从内部获取材料的手段来得到理想的外观形状。

在拉深件上平面的中心位, 预冲一个直径较小的孔, 用以解除凸台或凹坑拉深时对外部材料的拉深过程中的牵引力。作反拉深时, 在压料圈的配合作用下, 凸台或凹坑成形是靠上平面范围以内的材料流动来补充的, 如图 4-58 所示。

这种工艺的优点是，模具体积小，制成品轮廓清晰准确，不会引起工件本体产生畸变。

此工艺的适用范围如下：

1) 大深度拉深壶、半球形壶、高腰咖啡壶等多种产品的壶盖位置的拉深。

2) 柴油机、汽车发动机正时齿轮室盖的油封位的拉深。

3) 汽车门玻璃窗口位拉深。

4) 其他变形程度较大，中间有废料切除，而且不允许从外部拉入材料参与变形的拉深件。

3. 曲面压边圈拉深模

虎腿形工件（见图 4-59）的成形面是一个曲面，如果采用传统的平面压边圈，将会产生凸模运动方向不能与主成形面轴线重合等诸多问题。而采用曲面压边圈，可以很好地解决这些问题。在不锈钢制品中，锅铲、汤勺的成形也属于这一类情况。在汽车覆盖件中，翼子板拉深模具与此类同。

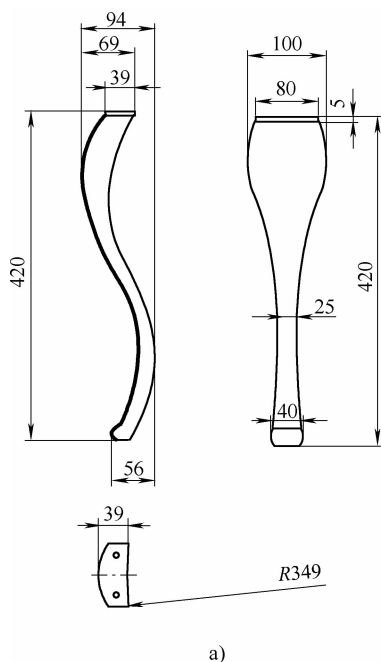


图 4-59 虎腿形工件

a) 零件图 b) 成品图

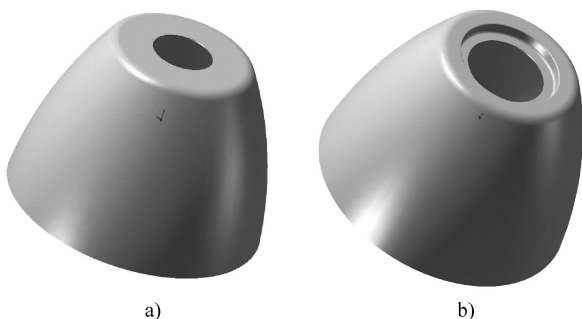


图 4-58 冲顶反拉深

a) 顶部冲孔 b) 拉深

制作时，凹模与压边圈共用同一块材料，将工件的成形基面作为凹模与压边圈的分型线，如图 4-60 所示。

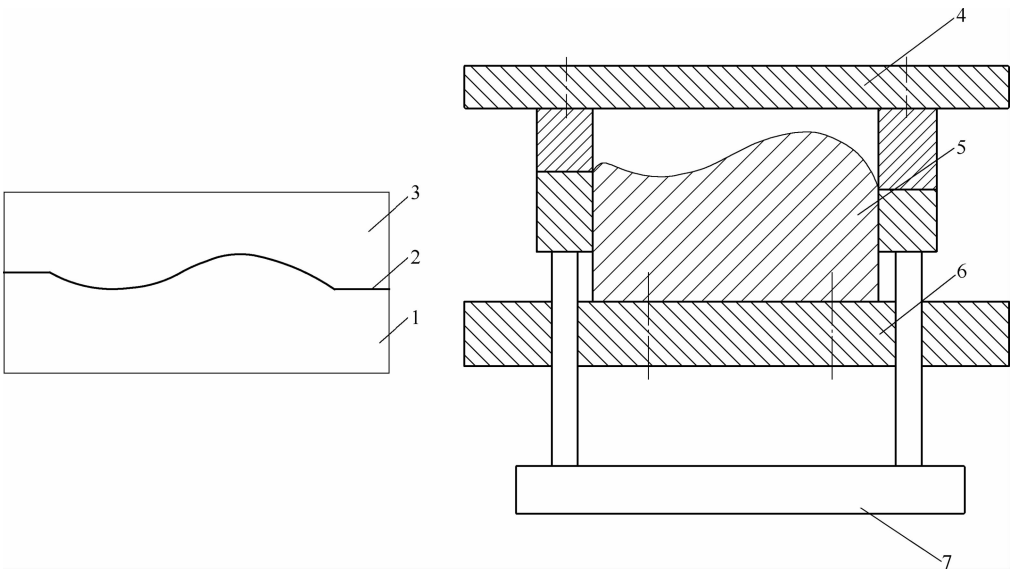


图 4-60 虎腿拉深模

1—压边圈 2—分模线 3—凹模 4—上模座 5—凸模 6—下模座 7—顶料板

虎腿形工件的工艺路线：开料→压曲面→拉深→切边→切大头→切小头→大头成形→切小头成形。

4.6 拉深模的安装方法及其他

1. 拉深模的安装

正装、倒装拉深模和反拉深模的安装方法基本相同，下面以倒装拉深模为例进行说明。

- 1) 安装并固定凸模。
- 2) 将压料圈套在凸模上。

3) 取与工件材料厚度相等的条料 2~4 条，长度应大于工件的展开料尺寸，宽度一般不小于 20mm，成等分交叉置于凸模上，矩形或异型模具，则应保证在纵向和横向都有分布，如图 4-61 所示。

4) 将凹模套在凸模上，起动压力机，将凹模下平面运行到低于工件拉深高度 5~8mm 的位置。

- 5) 将凹模固定在压力机上工作台上。

- 6) 调整行程开关位置，不能一次调整到位，预

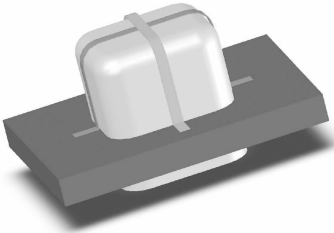


图 4-61 拉深模安装

先将上模下降位置留高一些，在试拉过程中逐步调整到拉出合格的产品为止。

2. 试模条件与正式生产条件的继承关系

在拉深产品生产过程中，模具的试验条件与正式投入生产条件有严格的继承关系，尤其是在当工件的成形条件已接近极限时，这种关系就显得十分重要。因此，切不可在试模时采用某些在批量生产时不能达到的条件来试模，如局部加压、临时氧-乙炔加热等。一旦试模成功，其所有内在和外部条件都不得改变，包括材料的物理性能、厚度、表面处理条件、凸凹模的表面粗糙度、有无润滑和润滑油的黏度、压力机调整等一系列相关条件。

4.7 拉深失败原因分析

4.7.1 快速分析拉深件破裂的原因

拉深件破裂大多数发生在工件壁部 R 角终点或稍下的位置，即所谓危险断面。造成破裂的主要原因如下：

- 1) 模具不平。
- 2) 上、下工作台面不平行。
- 3) 材料伸长率不够。
- 4) 凸、凹模圆角半径太小。
- 5) 拉深系数太小，变形程度太大。
- 6) 压边力太大。

有经验的人，通过观察就可以快速确定属于何种原因。例如，破裂断面占圆周的 $1/2 \sim 2/3$ 的，属于模具不平；破裂断面等于或大于圆周的 $2/3$ 的，说明上下模具工作面基本处于平行状态，应重点考虑前述原因的第4~第6项。

其中，凹模圆角半径 $R_{凹}$ 太小时，材料有明显的变薄，这种现象表现为断裂带更接近于凹模圆角的位置，并可以从破裂处直接观测得到。

压边力太大时，材料表面原有的光泽被完全破坏，代之以因在重压下滑动产生的光泽。将工件对着亮光，调整压料面的角度，可以看到明显的反光。

听觉也可以作为判断中的辅助因素，模具不平时产生的破裂是从一侧或者说是一点开始的，声音较小且有拖长的感觉；而第3~第6项原因产生的破裂几乎是整个断面同时发生，所以后者发生时的声音比前者大，且干脆得多。

经过多次调整仍不能达到目的时，可进行下面的操作：

1) 调换模具与压力机工作台的相对位置，如果破裂的起始点与模具的对应位置保持不变，说明上、下工作台面是平行的，而模具上下压料面不平。如果破裂的起始点与工作台的对应位置保持不变，则说明模具是平的，上、下工作台面不平行。

2) 如果破裂的起始点不是固定在某一位置，而是在圆周内的不同位置变换，则在排除了凹模圆 $R_{凹}$ 太小时的原因之后，应是材料伸长率不够。

3) 另外, 如果凸缘发生严重的偏边, 则应考虑: 模具有少许不平, 凹模 R 角粗糙度不一致, 压料面或凹模平面粗糙度不一致。

4.7.2 拉深不良品原因分析

拉深不良品原因分析见表 4-17。

表 4-17 拉深不良品原因分析

类别	不良位置	原因分析	解决办法
起皱	凸缘起皱	压边力太小	加大压边力
	部分凸缘起皱、上口起皱	压边圈与凹模工作面不平行	平磨压边圈或凹模, 在部分顶杆端面加垫料调整压边圈或凹模平行度
		凹模圆角太大, 最后未压边宽度超过 10t	修整凹模圆角
	锥形件、抛物线形、半圆形工件腹部起皱	压边力过小	加大压边力
		凹模圆角太大	修理凹模圆角
		润滑油太多	减少润滑油
破裂	筒形件底部破裂	压边力太大	减小压边力
		凸模圆角太小	加大
		材料韧性不够	调换材料
		拉深系数太小	核算拉深系数
		冷作硬化	退火
		间隙太小	调整凸模间隙
		间隙不匀	调整间隙均匀
		凹模、压边圈工作面表面粗糙度太粗	研磨工作面
		润滑不足	凹模面涂抹润滑油
	截顶圆锥件、抛物线、半球形工件上腹部破裂	压边力太大	减小压边力
		凸模表面太过光滑	粗砂纸手工打糙凸模表面
		润滑油太多, 材料与凸模摩擦力太小	凸模面不用或采用干粉代替润滑油
		模具不平凸缘起皱后不能被拉入凹模	调整模具或机床工作台
	截顶圆锥件、抛物线、半球形工件下腹部破裂	压边力太大	减小压边力
		凹模圆角太小	加大
		拉深系数太小	重新核算拉深系数
		润滑不良 (无油或黏度不足)	选用合适牌号的润滑油

(续)

类别	不良位置	原因分析	解决办法
破裂	盒形件角部破裂	压边面积太大	增大切角面积
		凹模圆角小	修大凹模圆角
		圆角部分间隙太小	调整到 1.1t 以上
		压边力太大	调整压边力
		模具对中不良, 周边间隙不匀	重调间隙
偏边	凸缘偏边	坯件定位不居中	调整定位
		凹模、压边圈工作面不平行	调整压边圈平行度
		凹模、压边圈工作面有条纹状磨削痕迹未消除	在旋转机具上研磨抛光凹模、压边圈
	工件偏边	拉深模间隙不匀	调整模具间隙
		凹模圆角不一致	修理凹模圆角
		凹模、压边圈工作面不平行	调整或垫平压边圈
		凹模、压边圈表面的表面粗糙度不一致	凹模、压边圈表面重新抛光
壁部拉毛、划伤	—	模具不光滑	抛光模具
		凹模圆角积瘤或磨损	修理打磨抛光凹模圆角
		润滑剂不洁	过滤润滑剂
凸耳现象严重	—	材料厚度不一致	调换材料
		模具上产生积瘤或硬点	修理打磨抛光凹模圆角
		润滑剂中混杂有固体物质	过滤润滑剂

4.8 拉深模的保管

拉深模入库保管时，应向模具的工作面涂抹防锈油。将最后一个批次的合格产品保留一件，压合在凸凹模之间，既可作为下次模具安装时校对模具间隙用，也可保证上下模贴合稳妥，还可作为下次生产时的质量参照品。

第 5 章 翻 边

翻边是将工件的边缘翻成竖立边缘的一种加工工序。

加工位置在工件外缘的称为外缘翻边，也被称为压缩性翻边。加工位置在工件内缘的称为内缘翻边，也被称为延伸性翻边，如图 5-1 所示。

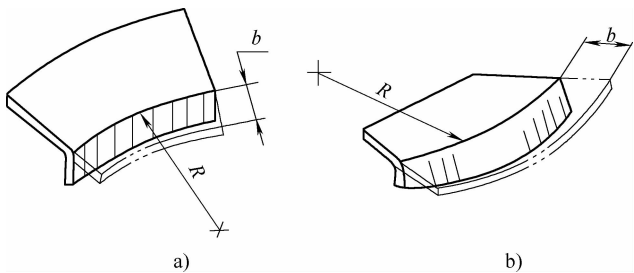


图 5-1 翻边形式

a) 内缘翻边 b) 外缘翻边

翻边工序在生产中应用范围很广，尤其是在车辆制造、金属家具制造、日用五金餐厨具制造等工业部门中应用更为普遍。它的主要优点如下：

- 1) 翻边可令产品具有良好的刚度和合理的空间形状。
- 2) 内缘翻边可代替先拉深后切底工序,外缘翻边可代替浅拉深,缩短工艺路线,降低成本。
- 3) 用于薄板件的连接，可以增加攻螺纹的长度，增强螺纹拉力。
- 4) 能冲制连接工件的空心铆钉形孔，如图 5-2 所示。
- 5) 在家用器皿生产中，常用在将盆类工件外缘上，既可以加强产品边缘刚度，又可以将工件的锐边翻卷向内，提高了实用性，如图 5-3 所示。

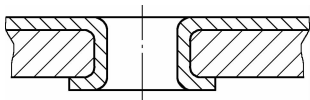


图 5-2 空心铆钉孔翻边



图 5-3 不锈钢斗盆

5.1 孔翻边

小直径内孔翻边被称为翻孔，在平板坯料或在空心件上，将预先冲好或钻好的孔弯

出筒形边缘。

翻孔的变形极限, 受到材料伸长率的限制。由此可知, 翻边高度总是小于翻边前孔径与材料伸长率的乘积的。

$$d < d_0 \times (1 + A)$$

实际生产中, 如果要求翻孔边缘不破裂, 则只能用到材料伸长率的 70%, 即:

$$d < d_0 \times (1 + 0.7A)$$

式中 d ——翻边后的孔径 (mm);

d_0 ——翻边前孔径 (mm);

A ——材料伸长率 (%)。

超出了上式的允许范围, 孔边就会产生裂纹。倘若工件翻孔质量要求不高或允许孔口不齐 (如螺钉攻螺纹孔), 也可以将材料伸长率用足。

翻孔高度, 按照翻边前后面积不变的原则进行计算。

小型翻孔采用硬模冲压加工, 大多在压力机上进行。大型翻孔也可以采用滚轮在圆盘机上操作。

5.1.1 翻孔 (边) 系数

翻孔或翻边变形程度常用翻孔系数来表示, 其计算公式为

$$K = \frac{D_0}{d}$$

式中 K ——翻孔系数;

D_0 ——预冲孔直径 (mm);

d ——翻孔后直边的平均直径 (mm)。

K 值越大, 变形程度越小; K 值越小, 变形程度越大。

影响翻孔系数的主要因素如下:

1) 材料的性能, 塑性越好, K 值可越小。

2) 预孔的相对直径 t/D_0 , t/D_0 值越小, K 值越大。

3) 孔的加工方法, 如果是钻出的孔, 由于无撕裂面, 翻孔时不易出现裂纹。冲出的孔有部分撕裂面, 翻孔容易开裂, 故 K 值较大。如果冲孔后对材料进行退火或将孔整修, 则可得到与钻孔相接近的翻孔比。此外, 还可以将冲孔的方向与翻孔的方向相反, 使毛刺位于翻孔内侧可减小开裂, 如图 5-4 所示。

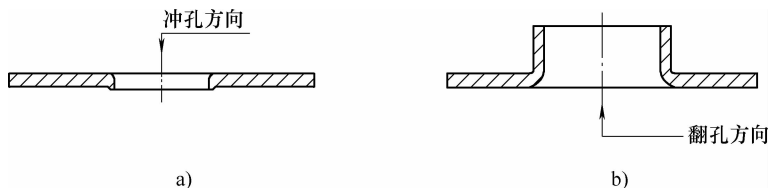


图 5-4 翻孔方向与冲孔方向相反

a) 冲孔 b) 翻孔

4) 翻孔凸模的形式, 采用球面、抛物线面或锥形凸模时, 孔边圆滑地逐渐展开, 能使 K 值减小, 增加变形程度。

低碳钢的极限翻孔系数见表 5-1。各种材料的翻孔系数见表 5-2。

表 5-1 低碳钢的极限翻孔系数

翻孔凸模形状	孔的加工方法	材料相对厚度 d_0/t										
		100	50	35	20	15	10	8	6.5	5	3	1
球形凸模	钻孔后去毛刺	0.70	0.60	0.52	0.45	0.40	0.36	0.33	0.31	0.30	0.25	0.20
	冲孔模冲孔	0.75	0.65	0.57	0.52	0.48	0.45	0.44	0.43	0.42	0.42	—
圆柱形凸模	钻孔后去毛刺	0.80	0.70	0.60	0.50	0.45	0.42	0.40	0.37	0.35	0.30	0.25
	冲孔模冲孔	0.85	0.75	0.65	0.60	0.55	0.52	0.50	0.50	0.48	0.47	—

注: 采用本表中极限翻孔系数, 翻孔后口部边缘会出现不很大的开裂, 如果工件不允许开裂, 则翻孔系数须加大 10% ~ 15%。

表 5-2 各种材料的翻孔系数

经退火的毛坯材料		翻孔系数	
		K_0	$K_{\min}$
镀锌钢板 (白铁皮)		0.70	0.65
软钢	$t = 0.25 \sim 2.0\text{mm}$	0.72	0.68
	$t = 3.0 \sim 6.0\text{mm}$	0.78	0.75
黄铜 H62 $t = 0.5 \sim 6.0\text{mm}$		0.68	0.62
铝 $t = 0.5 \sim 5.0\text{mm}$		0.70	0.64
硬铝合金		0.89	0.80
钛合金	TA1 (冷态)	0.64 ~ 0.68	0.55
	TA1 (加热 300 ~ 400℃)	0.40 ~ 0.50	
	TA5 (冷态)	0.85 ~ 0.90	0.75
	TA5 (加热 500 ~ 600℃)	0.70 ~ 0.65	0.55
不锈钢、高温合金		0.69 ~ 0.65	0.61 ~ 0.57

注: 翻孔容许有不大的裂痕时, 可采用数值 $K_{\min}$ 。

5.1.2 预制孔径尺寸的确定

翻边高度较小时, 可先在坯料上预制孔, 然后直接翻边。如图 5-5 所示的内孔翻边, 其预冲孔直径计算公式为

$$d_0 = d - 2(H - 0.43r - 0.72t)$$

式中 d_0 ——坯料孔径 (mm);
 d ——翻边后孔径 (中性层) (mm);
 r ——翻边圆角半径 (mm);
 t ——材料厚度 (mm);

H ——翻边高度 (mm)。

翻边后翻边高度 H 计算公式为

$$H = \frac{d_1}{2} \left(1 - \frac{d_0}{d_1} \right) + 0.43r + 0.72t$$

核算后的翻边高度 H ，如果符合工件所要求的高度，表示预先所计算的坯料孔径是合理的，否则必须重新确定。工件所要求的高度比计算高度大，则应尽量减小坯料孔径；工件要求高度小于计算高度，可加大坯料孔径。实际上，合理的坯料孔径，都需先行用钻孔的方式多次试验后才能确定。

如果翻边高度 H 要求较高，一次不能成形时，可采取如下的方法：对于小孔翻边，可采用冲孔加挤压使壁部变薄的方式获得；对于大孔的翻边或进行带料连续拉深时，应采用拉深-冲底孔-翻边的方法成形。如图 5-6 所示的工件，就是利用这种方法成形的。

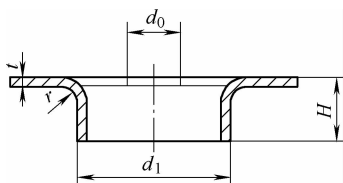


图 5-5 冲预制孔-翻边

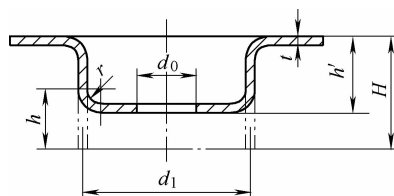


图 5-6 拉深-冲底孔-翻边

5.1.3 翻边（孔）力

翻边过程中，所需的力一般不大，故可以不经计算，但必要计算时可按下式估算：

有预孔的翻边力计算公式为

$$F = 1.1 \pi t R_{\text{el}} (d_1 - d_0)$$

式中 F ——翻边力 (N)；

R_{el} ——屈服强度 (MPa)；

d_1 ——翻孔直径 (mm)；

d_0 ——预孔直径 (mm)；

t ——材料厚度 (mm)。

无预孔的翻边在采用平刃口冲孔时，翻边力是冲孔力与翻孔力之和。采用尖点突破冲孔时，翻边力是有预孔的条件下的 1.3 ~ 1.5 倍。

5.1.4 凸、凹模间隙

为保证翻孔凸缘挺直，凸模与凹模之间的间隙 $z/2$ 一般取小于材料厚度。平面毛坯上翻孔间隙见表 5-3，拉深后翻孔间隙见表 5-4。

表 5-3 平面毛坯上翻孔间隙 (单位: mm)

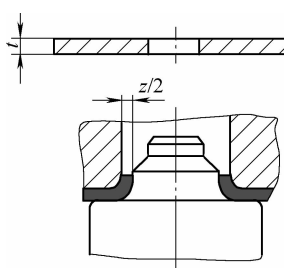
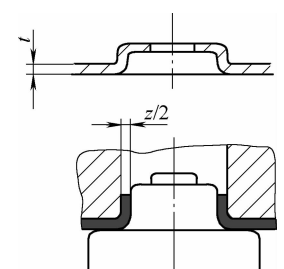
	t	$z/2$
	0.5	0.45
	0.7	0.60
	0.8	0.7
	1.0	0.85
	1.2	1.0
	1.5	1.3
	2.0	1.7

表 5-4 拉深后翻孔间隙 (单位: mm)

	t	$z/2$
	0.8	0.60
	1.0	0.75
	1.2	0.90
	1.5	1.1
	2.0	1.5

5.1.5 翻孔凸模和凹模结构要点

1) 无预孔的穿刺翻孔凸模有两种形式, 一种如图 5-7a 所示, 用于先行冲出小直径预孔然后跟进翻边, 凸模端部呈平底形, 有刃口, 翻孔后的孔口如图 5-8 所示; 另一种凸模端部呈锥形, 如图 5-7c 所示, α 取 60° , 翻孔后的孔口如图 5-9 所示。

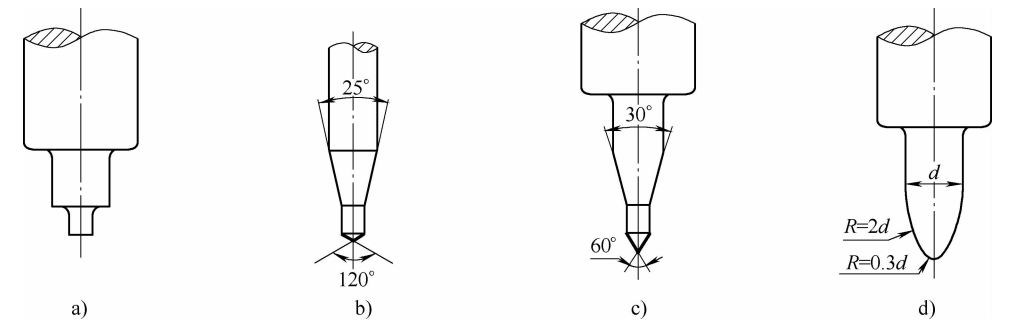


图 5-7 圆孔翻边常用凸模形状和角度

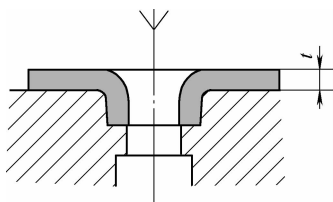


图 5-8 有刃口凸模翻孔效果

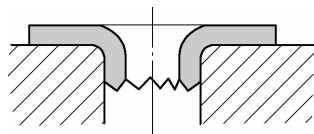


图 5-9 锥顶凸模翻孔效果

2) 图 5-7b 所示为有预冲孔的翻孔模, 凸模前端先进入预冲孔导向, 锥体部分跟进翻孔。图 5-7d 所示为抛物线形的翻孔凸模, 有光滑圆弧过渡, 翻孔质量良好。

凸模形状应根据翻孔直径进行选择, 直径 $d_1 \leq 6\text{mm}$ 的用圆顶 (见图 5-7d), $d_1 > 6\text{mm}$ 的用平顶, 如图 5-10 所示。

3) 凹模圆角半径 $R_{\text{凹}}$ (见图 5-11), 多工序翻孔时, 凹模工作边缘的圆角半径 $R_{\text{凹}}$, 应按如下要求取值:

- ① 料厚 $t < 2\text{mm}$ 时, $R_{\text{凹}} = (4 \sim 5)t$ 。
- ② 料厚 $t \geq 2\text{mm}$ 时, $R_{\text{凹}} = (2 \sim 3)t$ 。
- ③ 对螺纹底孔, $R_{\text{凹}} = (0.5 \sim 1)t > 0.2\text{mm}$ 。

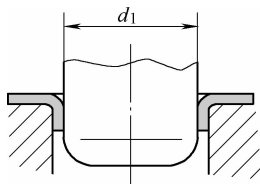


图 5-10 平顶凸模工作状态

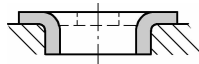


图 5-11 凹模入口圆角

若工件要求的圆角半径小于上述数值时, 应增加一次整修工序, 使圆角部分受到整形。

5.1.6 变薄翻孔

为了保证螺孔深度, 又不增加工件厚度, 生产中常采用变薄翻孔的方法 (见图 5-12) 加工小螺孔 (多为 M6 以下)。在螺孔加工中, 为保证使用强度, 低碳钢的螺孔深度, 不小于螺纹直径的 $1/2$; 黄铜零件的螺孔深度, 不小于螺纹直径的 $2/3$; 而铝件的螺孔深度应大于螺纹直径的一倍。

试验表明, 一次变薄翻孔的变薄系数 K 可达 $0.4 \sim 0.5$, 甚至更小。

变薄翻孔多采用阶梯形凸模成形, 如图 5-13 所示。变薄翻孔力比普通翻孔力大得多, 并且与变薄量成正比。变薄翻孔时, 凸模与凹模之间应具有良好的导向, 以保证间

隙均匀。凸模还要求具有较高的硬度和较低的表面粗糙度。

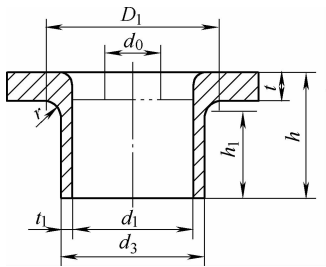


图 5-12 变薄翻孔

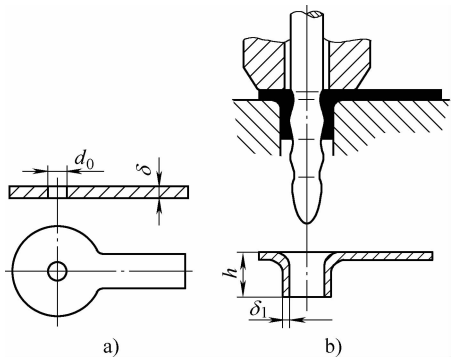


图 5-13 多环翻孔凸模

a) 平板毛坯 b) 变薄翻孔

1. 凸缘高度

变薄翻孔的凸缘高度，按照翻边前后体积不变的原则计算，常用材料（Q215A、Q235A 钢板）的凸缘高度 h 的计算公式为

$$h = ct \frac{d_2^2 - D_0^2}{d_2^2 - d_1^2}$$

- 式中 h ——凸缘高度（mm）；
 t ——材料厚度（mm）；
 c ——系数；
 d_1 ——翻孔凸模外径（mm）；
 d_2 ——翻孔凸缘外径（mm）；
 D_0 ——预冲孔直径（mm）。

2. 变形程度

变薄翻孔时的变形程度用变薄系数 K 表示，其计算公式为

$$K = \frac{t_1}{t}$$

- 式中 t ——材料厚度（mm）；
 t_1 ——变薄翻孔后的竖边厚度（mm）；

在变薄翻孔中，一般取翻孔系数 $K = 0.55 \sim 0.40$ 。使用多环翻孔凸模时，变形程度可超过该指标。

3. 螺纹用翻孔数据

常用材料的螺纹变薄翻孔数据见表 5-5 和表 5-6。

表 5-5 粗牙螺纹翻孔数据 (单位: mm)

螺纹直径	材料厚度 t	翻孔内径 D_1	翻孔外径 d_2	凸缘高度 h	预冲孔直径 D_0	凸缘圆角半径 R
M2	0.5	1.65	2.24	1	1.1	0.25
	0.6		2.18	0.96	1.3	0.3
			2.24	1.08	1.1	
			2.3	1.2	0.8	
			2.18	1.28	1.3	0.4
	2.3		1.44	1.0		
	0.8		2.3	1.6	1.1	0.5
M2.2	0.6	1.8	2.4	1.08	1.3	0.3
			2.5	1.2	0.9	
	0.8		2.4	1.28	1.4	0.4
			2.5	1.44	1.1	
	1		2.5	1.6	1.2	0.5
M2.5	0.6	2.1	2.8	1.2	1.4	0.3
	0.8		2.7	1.28	1.8	0.4
			2.8	1.44	1.5	
			2.9	1.6	1.2	
	1		2.8	1.6	1.6	0.5
			2.9	1.8	1.2	
	1.2		2.9	1.92	1.3	0.6
M3	0.8	2.55	3.38	1.6	1.9	
	1		3.25	1.6	2.2	0.5
			3.38	1.8	1.9	
			3.5	2	4	
	1.2		3.38	1.92	2	0.6
			3.5	2.16	1.5	
	1.5		3.5	2.4	1.7	0.75
M3.5	1	2.95	3.75	1.6	2.6	0.5
			3.86	1.8	1.8	
			4.0	2	2.3	
	1.2		3.86	1.92	2.3	0.6
			4.0	2.16	1.9	
	1.5		4.0	2.4	2.1	0.75
M4	1	3.35	4.46	2	2.3	0.5

(续)

螺纹直径	材料厚度 t	翻孔内径 D_1	翻孔外径 d_2	凸缘高度 h	预冲孔直径 D_0	凸缘圆角半径 R
M4	1.2	3.35	4.35	1.92	2.7	0.6
			4.5	2.16	2.3	
			4.65	2.4	1.5	
	1.5		4.46	2.4	2.5	0.75
			4.56	2.7	1.8	
	2		4.56	3.2	2.4	1
M5	1.2	4.25	5.6	2.4	3	0.6
	1.5		5.45	2.4	2.5	0.75
			5.6	2.7	3	
			5.75	3	2.5	
			2	5.53	3.2	2.4
	5.75			3.6	2.7	
	2.5		5.75	4	3.1	1.25
	M6		1.5	5.1	7.0	3
2		6.7	3.2		4.2	1
		7.0	3.6		3.6	
		7.3	4		2.5	
2.5		7.0	4		4	1.25
		7.3	4.5		3	
3		7.0	4.8		3.4	1.5
M8	2	6.85	8.95	4	4.6	1
	2.5		8.65	4	5.7	1.25
			8.95	4.5	4.9	
			9.25	5	3.6	
	3		8.95	4.8	5.1	1.5
			9.3	5.4	3.9	
	4		9.15	6.4	5	2
M10	2.5	8.6	11.2	5	5.6	1.25
	3		10.9	4.8	6.9	1.5
			11.25	5.4	5.8	
			11.5	6	5	
	4		11.1	6.4	6.8	2
			11.55	7.2	5.4	

表 5-6 细牙螺纹翻孔数据 (单位: mm)

螺纹直径	材料厚度 t	翻孔内径 D_1	翻孔外径 d_2	凸缘高度 h	预冲孔直径 D_0	凸缘圆角半径 R
M2 × 0. 25	0. 5	1. 78	2. 12	0. 8	1. 6	0. 25
			2. 18	0. 9	1. 5	
			2. 24	1	1. 3	
	0. 6		2. 18	1	1. 5	0. 3
			2. 24	1. 12	1. 3	
			2. 33	1. 25	0. 9	
	0. 8		2. 2	1. 25	1. 6	0. 4
			2. 3	1. 4	1. 8	
	1		2. 3	1. 6	1. 3	0. 5
			2. 4	1. 8	1	
M2. 2 × 0. 25	0. 6	1. 98	2. 4	1	1. 7	0. 3
			2. 45	1. 12	1. 5	
			2. 53	1. 25	0. 3	
	0. 8		2. 4	1. 25	1. 6	0. 4
			2. 5	1. 4	1. 4	
			2. 6	1. 6	1. 0	
	1		2. 5	1. 6	1. 3	0. 5
			2. 6	1. 8	1	
M2. 5 × 0. 35	0. 6	2. 2	2. 65	1	1. 9	0. 3
			2. 75	1. 12	1. 7	
			2. 8	1. 25	1. 5	
	0. 8		2. 7	1. 25	1. 8	0. 4
			2. 78	1. 4	1. 6	
			2. 9	1. 6	1. 2	
	1		2. 78	1. 6	1. 7	0. 5
			2. 9	1. 8	1. 4	
M3 × 0. 35	0. 8	2. 7	3. 18	1. 25	2. 5	0. 4
			3. 28	1. 4	2. 3	
			3. 4	1. 6	1. 8	
	1		3. 28	1. 6	2. 3	0. 5
			3. 4	1. 8	2	
			3. 53	2	1. 5	
	1. 2		3. 4	2	2	0. 6

(续)

螺纹直径	材料厚度 t	翻孔内径 D_1	翻孔外径 d_2	凸缘高度 h	预冲孔直径 D_0	凸缘圆角半径 R
M3 ×0.35	1.2	2.7	3.53	2.24	1.6	0.6
	1.5		3.53	2.5	1.9	0.75
M4 ×0.5	1	3.55	4.25	1.6	3.2	0.5
			4.35	1.8	3	
			4.5	2	2.6	
	1.2		4.35	2	3	0.6
			4.5	2.24	2.6	
			4.65	2.5	1.9	
	1.5		4.5	2.5	2.7	0.75
			4.65	2.8	2.1	
			4.78	3	1.6	
	2		4.58	3.15	2.6	1
			4.8	3.55	2	
M5 ×0.5	1.2	4.55	5.35	2	4	0.6
			5.5	2.24	3.8	
			5.65	2.5	3.4	
	1.5		5.45	2.5	3.8	0.75
			5.65	2.8	3.6	
			5.78	3	3	
	2		5.56	3.15	3.7	1
			5.8	3.55	3.1	
			6.05	4	2	
	2.5		5.78	4	3.5	1.25
			6.05	4.5	2.6	
M6 ×0.75	1.5	5.33	6.4	2.5	4.7	0.75
			6.6	2.8	4.2	
			6.75	3	3.8	
	2		6.5	3.15	4.5	1
			6.75	3.55	4	
			7.05	4	2.8	
	2.5		6.75	4	4.2	1.25
			7.05	4.5	3.3	
	3		7.05	5	3.7	1.5

(续)

螺纹直径	材料厚度 t	翻孔内径 D_1	翻孔外径 d_2	凸缘高度 h	预冲孔直径 D_0	凸缘圆角半径 R
M8 × 0.75	2	7.33	8.45	3.15	6.6	1
			8.7	3.55	6.2	
			9	4	5.4	
	2.5		8.7	4	6.3	1.25
			9	4.5	5.7	
			9.3	5	4.6	
	3		9	5	5.8	1.5
			9.35	5.6	4.5	
			9.6	6	3.6	
	4		9.2	6.3	5.6	2
			9.6	7.1	4.4	
M10 × 1	2	9.1	10.65	3.55	8.1	1
			10.95	4	7.3	
	2.5		10.6	4	8	1.25
			10.95	4.5	7.5	
			11.25	5	6.5	
	3		10.95	5	7.6	1.5
			11.3	5.6	6.5	
			11.55	6	5.6	
	4		11.1	6.3	7.5	2
			11.6	7.1	6.2	

5.2 其他翻边

5.2.1 伸长性翻边

伸长性翻边与孔的翻边相似，凸缘内产生拉应力而易于破裂。当翻边曲线夹角 $150^{\circ}>\alpha>60^{\circ}$ （见图 5-14）时，为了得到一致的翻边高度，已不能按照曲率半径确定坯料尺寸，而应当进行适当的修正。伸长性翻边坯料修正值见表 5-7。

异形内缘由不同半径的凸弧、凹弧以及直线组成，各部分的受力状态与变形性质有所不同，直线部分可视为弯曲变形，凸圆弧部分可视为浅拉深，凹圆弧部分可视为翻孔变形，如图 5-15 所示。

表 5-7 伸长性翻边坯料修正值

$\alpha/ (^{\circ})$	翻边系数 K	$\beta/ (^{\circ})$	ρ/mm	$\alpha/ (^{\circ})$	翻边系数 K	$\beta/ (^{\circ})$	ρ/mm
150	0.62	25	10.0	90	0.25	38	65.0
120	0.50	30	17.5	85	0.40	38	32.0
120	0.37	30	20.0	70	0.43	32	35.0
120	0.34	47	26.0	60	0.25	30	+ ∞

注：材料为 08，料厚为 1mm， $2r = 32.5\text{mm}$ 。

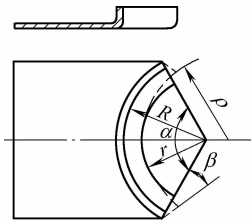


图 5-14 内凹曲线翻边的坯料修正

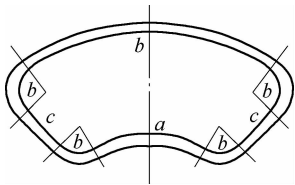


图 5-15 异形内缘翻边

1. 预孔展开计算

可以按照几何形状的特点，将孔轮廓分段，一般有三种情况。

(1) 凹弧 如图 5-15 中的圆弧 b ，凹曲线的翻边与孔的翻边相似，按圆形翻孔求展开尺寸。

(2) 直线段 如图 5-15 中的直线 c ，按弯曲求展开尺寸。

(3) 凸弧 如图 5-15 中的圆弧 a ，按拉深求展开尺寸。

在计算时就可以按以上三种情况分别考虑，由理论计算出来的孔的形状应加以适当的修正，使各段平滑连接。

2. 异形内缘翻孔系数

异形内缘翻孔时，主要核算小圆弧部分的变形程度。由于小圆弧部分在变形过程中，受到直线或大圆部分材料的补充，因而翻孔系数允许小于圆孔的翻孔系数。

$$K' = (0.9 \sim 0.85) K$$

式中 K' ——异形翻孔系数；

K ——圆孔翻孔系数。

5.2.2 压缩性翻边

平面外缘翻边也被称作外凸曲线翻边，平板坯料的外缘成形为工件外径时尺寸变小，属于压缩性翻边。

外缘翻边有两种加工形式：硬模翻边和滚轮翻边。外缘为非圆形和尺寸较小的工件

采用硬模翻边，在压力机上进行；外缘为圆形、尺寸较大的工序件也可采用硬模翻边；但如果改为滚轮翻边，在多工位圆盘机上进行，则可节省大量模具费用，并可在一定程度上提高翻边极限高度。图 5-16 所示的工件，直径为 900mm，材料厚度为 1.0mm，翻边高度为 24mm，整体在多工位圆盘机成形，然后取半所得。

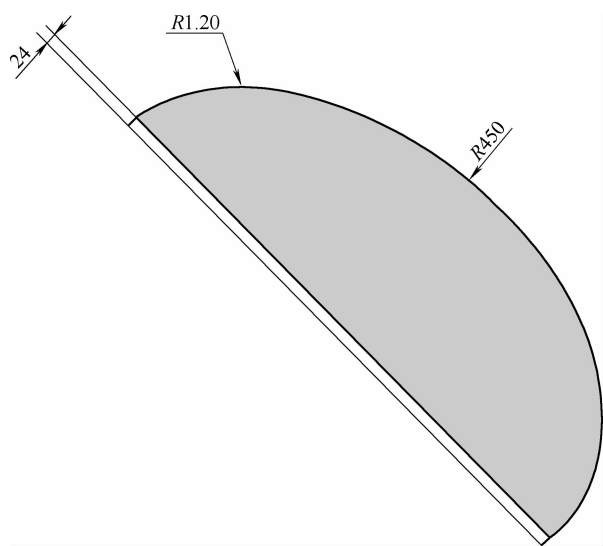


图 5-16 大直径半圆平面外缘翻边

5.2.3 压缩性翻边的极限高度与工件弯曲半径的对应关系

外缘翻边时，边缘上的材料产生压缩性应变，其变形性质类似于不用压边圈的浅拉深变形。当材料在变形时超过自身的蠕合能力时，工件产生起皱。

外缘翻边时的材料起皱与否，取决于材料厚度与翻边宽度 t/B 的比例、外缘弧度曲率的大小和材料的自蠕合能力。在常温和有氧加热的情况下，铁基材料的自蠕合数值很小。

当曲率 B/R 很小或者说是工件弯曲半径无穷大时，翻边就等同于折边，其高度也可以无穷大，如图 5-17 所示。

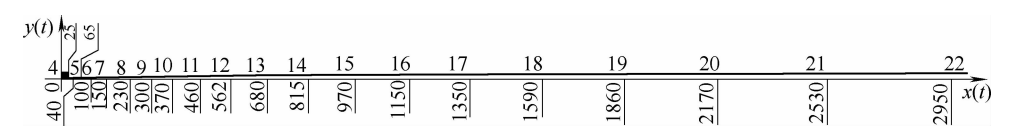


图 5-17 压缩性翻边的极限高度与工件弯曲半径的对应关系

曲率 B/R 越大，材料越薄，起皱的概率越大。实践证明，在计算外缘翻边的极限高度时，采用按材料厚度的方法计算较为简捷、可靠。

生产中，如果采用硬模翻边，外缘翻边的极限高度 B 与工件弯曲半径 R 存在下面的对应关系：

- 1) 当 $20t \leq R < 30t$ 时， $B = 3.5t$ 。
- 2) 当 $30t \leq R < 50t$ 时， $B = 4t$ 。
- 3) 当 $50t \leq R < 80t$ 时， $B = 5t$ 。
- 4) 当 $80t \leq R < 120t$ 时， $B = 6t$ 。
- 5) 当 $120t \leq R \leq 170t$ 时， $B = 7t$ 。

在此数据之上，翻边高度 B 每增加一倍料厚，其弯曲半径增加值是前一组数据增加值的 1.15 倍。在直角坐标系上表达式为

$$y = t_N$$
$$X = R_N = 1.15R_{N-1}$$

上述数据除用于 10 钢、20 钢冷轧板外，还可沿用于不锈钢材料。当应用于软质铜板时，在宽度 B 前乘以 1.1 作为系数。当应用于软质铝板时，在宽度 B 前乘以 1.25 作为系数。

上述公式可沿用于其他压缩性翻边，如包覆模摺边宽度计算等。

5.2.4 滚轮翻边

滚轮翻边在圆盘机上进行。滚轮翻边中的工件承托材料不需要模具钢或合金钢。滚轮采用模具材料并经热处理；滚轮组合机构属于通用件，承托模具本体可制作成空腹型或仅有几个定位点。与硬模翻边相比，滚轮翻边可节省大量的费用投入，并且能缩短工期。

与硬模翻边相比，滚轮翻边的高度极限可高出 50%。这是因为工件与滚轮的接触总是从边缘开始的，而首先弯曲的这一段弧形对后续弯曲的材料失稳起皱有抑制作用。硬模翻边的极限为 $14t$ ，滚轮翻边最高可达到 $25t$ ，如图 5-18 所示。

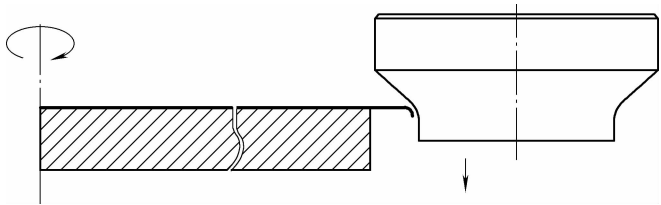
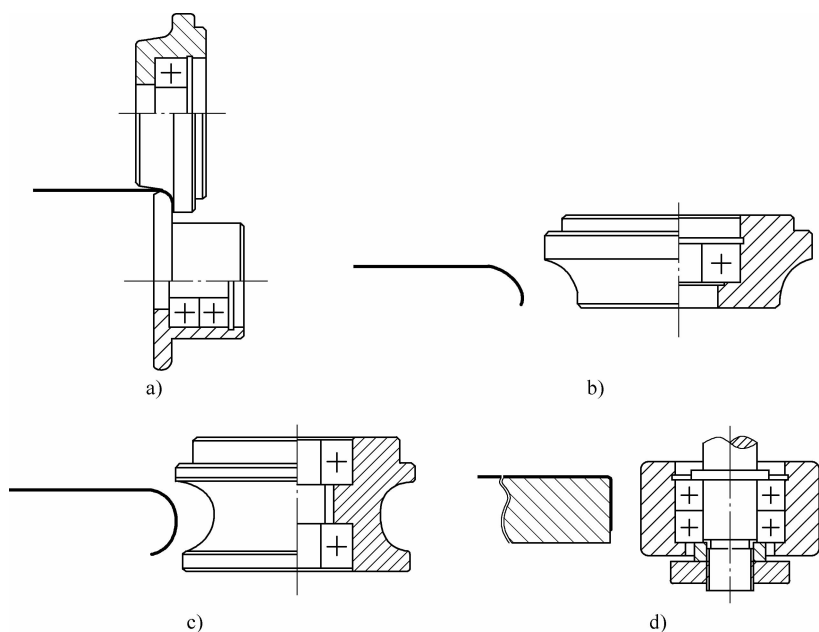


图 5-18 滚轮翻边

$H = 25t$ 时工件翻边工作顺序如图 5-19 所示。

图 5-19 $H = 25t$ 滚轮翻边工作顺序

a) 预弯 b) 弯小弧 c) 弯大弧 d) 压平

5.3 翻边模典型结构

1. 翻孔模结构通式

小规格螺纹翻孔模一般采用穿刺凸模，而大规格螺纹（M5 以上）翻孔模通常采用带有预制孔的凸模，冲孔与翻孔一次完成。凸模下行到一定高度时，材料在平面刃口的作用下被拉破。大多数情况下，翻孔后冲孔废料仍有粘连，但在攻螺纹后即可自行脱落，如图 5-20 所示。

一副模具上同时翻边多个孔位时模具应加装导柱导套，如图 5-21 所示。

大直径的有预制孔的单孔翻边模不用设置导柱导套。对模时依靠凸模导向段与预制孔自行找正，然后再根据工件外形做相应的定位，如图 5-22 所示。

翻边与翻孔模一般都应设置退料机构，将工件从凸模上脱出。在回弹力作用下，翻孔后的工件能够顺利从凹模中脱出，因此，一般不用考虑顶料。但做变形程度大的变薄翻孔或材料厚度 $\geq 4\text{mm}$ 时，则应考虑设置顶料，如图 5-23 所示。

2. 非对称受力翻边模（菊花锅平把）

理论上，非对称受力翻边件与非对称受力的弯曲件一样，可用同时完成两件的方法来改为对称件加工，以防止冲件移动。冲件在翻边后从中切开。

因为火锅把等小型零配件多从边角余料上裁取，不具备上述条件，所以这里主要描述单件翻边模。

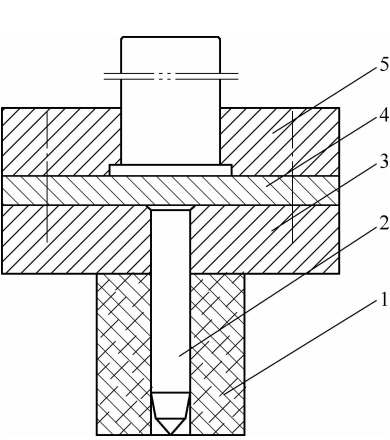


图 5-20 小规格螺纹 (M4 以下)
底孔单孔翻边凸模
1—橡胶弹性体 2—凸模 3—凸模
固定板 4—垫板 5—上模座

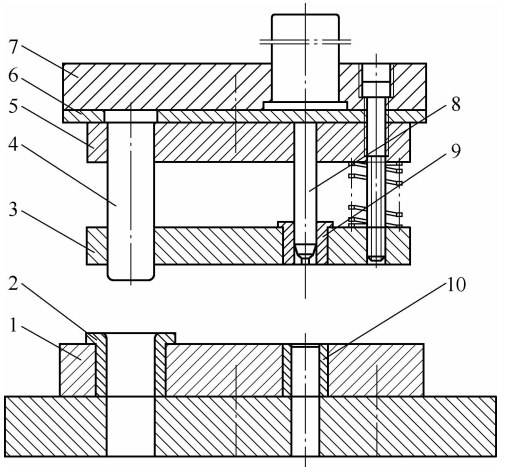


图 5-21 大规格螺纹 (M5 以上)
底孔多孔翻边模
1—凹模 2—导套 3—卸料板 4—导柱
5—凸模固定板 6—垫板 7—上模座
8—凸模 9—导向套 10—凹模硬质镶块

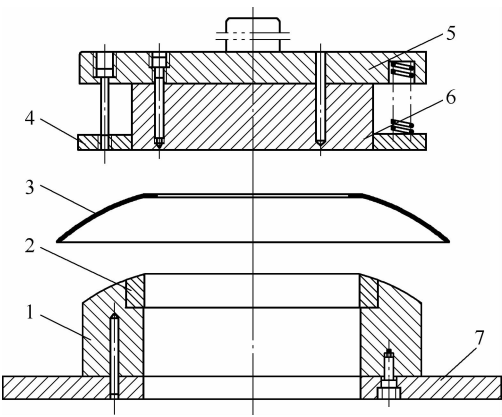


图 5-22 大孔内翻边模
1—凹模 2—工件 3—凹模镶套 4—脱料圈
5—上模座 6—凸模 7—下模座

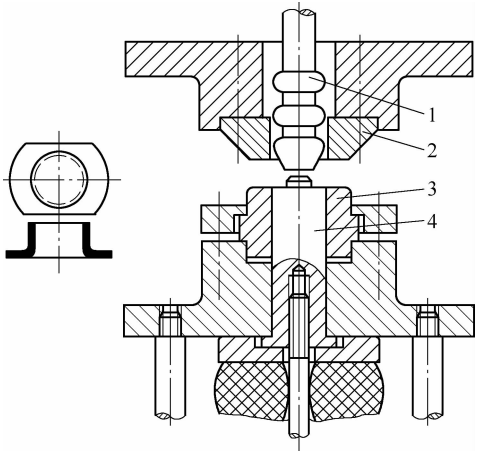


图 5-23 变薄翻孔模
1—凸模 2—压边圈 3—凹模 4—顶件器

在单件弯型过程中，材料受到单边翻边力的拉动，会产生滑动。设计此类模具的关键点就是如何防止材料滑动，保证翻边线处于正确的位置。

在凹模弯型面与冲件接触前，利用活动压料板先行将冲件压紧。其压料力要大于翻边力。

连同各种补偿因素在内, 不锈钢材料的翻边力估算公式为

$$F = LtR_{\text{eL}}$$

式中 F ——翻边力 (N);

L ——翻边线长 (mm);

t ——材料厚度 (mm);

R_{eL} ——屈服强度, 取 280 (MPa)。

现在, 此类模具大多数采用橡胶弹性体作弹性元件压料。橡胶弹性体具有弹力大、复原性能好、耐撕裂等优点。

橡胶弹性体并非越厚越好, 其厚度以翻边高度加上一定裕量后的 3~4 倍为佳。在计算高度内压料力不够时, 可用薄一些的橡胶板多层叠合, 中间夹垫薄钢片。增大橡胶的表面积, 可取得增大压料力的效果。中间有孔的冲件, 尽量采用孔位定位, 如图 5-24 所示。

3. 柿形壶体嘴位翻边

在壶嘴与壶体的钎焊作业中, 为了节约昂贵的银钎料, 需要将壶体沿壶嘴大端轮廓线翻成直立边。壶嘴位翻边作业是在悬臂式工作台压力机上进行的, 模具采用倒装式, 如图 5-25 所示。

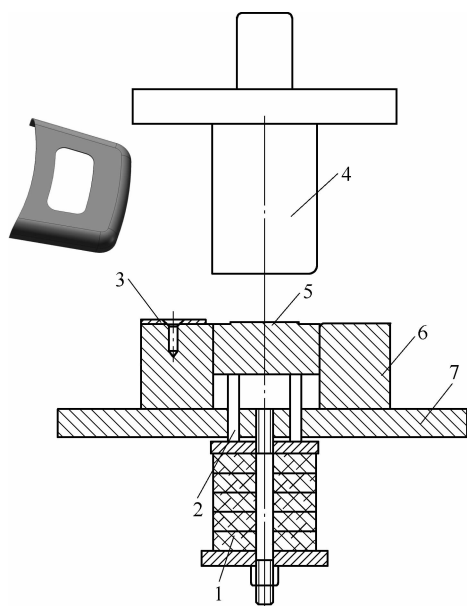


图 5-24 菊花锅平把翻边模

1—橡胶弹性体 2—传力销 3—定位板
4—凸模 5—顶料板 6—凹模 7—下模座

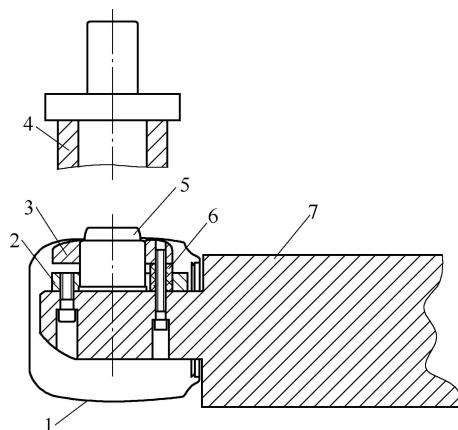


图 5-25 壶体壶嘴位翻边

1—壶体 2—凸模固定板 3—托料板 4—凹模
5—凸模 6—弹性元件 7—悬臂式工作台

工作时，将已冲好预孔的壶体1套在带定位的凸模5上，凹模4下行，克服弹性元件6的弹力，对工件进行翻边。上模上行时，托料板3在弹力的作用下向上抬起，将工件脱出翻边位置。

设计时要注意壶体口沿与悬臂式工作台的垂直距离应大于翻边行程，以免压伤壶口。

4. 翻边代替卷边（水壶口沿翻边）

在不锈钢水壶类产品生产中，壶口部分的加工常用二次翻边来替代卷边，如图5-26所示。

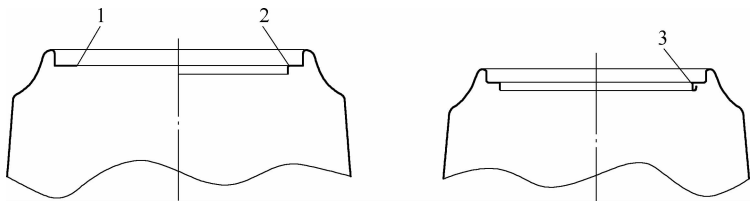


图 5-26 水壶口沿翻边代替卷边

1—壶体冲孔后的效果 2—第一次翻边 3—第二次翻边

设计时，第一道翻边高度不宜太大，应为 $4 \sim 6t$ 。第二道翻边高度不宜太小，应为 $8 \sim 12t$ 。而此时的凸、凹模单边间隙也应放大到 $1.5 \sim 2t$ 。第二道翻边过程中，第一道翻起的边缘会自动贴紧第二道翻边，形成类似于压死边的效果。

5. 硬模内缘翻边

图5-27所示为带圆弧的翻边件，料厚为1.0mm，翻边高度为12mm。根据经验，在受压条件下，翻边高度 $H \leq 14t$ 不会起皱。成形模具如图5-28所示。

通常情况下，为了提高工作可靠性，凸模弧线与工件相比，应做适当的延长，下模宽度比上模再宽6~10mm。

凹模套3的材料可采用低碳钢。硬质板9工作面倒圆，主要起到凹模圆角 $R_{\text{凹}}$ 的作用，作为分立元件加工可以减少模具钢或高速工具钢的用量，降低加工难度，并且可以微量调节凸、凹模间隙。

凸模和顶料板按产品图样配型。硬质板工作带与模座平行。材料在下行过程中逐步成形，最后由顶料板推出型腔。

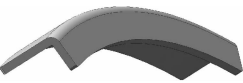


图 5-27 圆弧翻边件

6. 管材翻孔

采用悬臂式压杆加钢球的方法，可实现管材向外翻孔。其模具结构简图如图5-29所示，它适用于在管料加工了预制孔后的翻边。该模具的工作过程如下：

先将一定直径的钢球放入管内冲（钻）孔的位置，然后平置管材，套入压杆并压住钢球。此时起动压力机，上模下行，压迫压杆向下运动，强迫钢球穿过钢管。上模回程后，压杆自动抬起，移出管材，这样便完成了整个翻边过程。

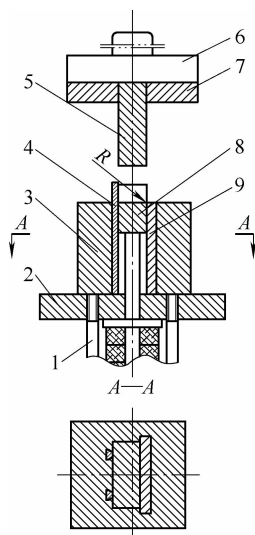


图 5-28 圆弧翻边件成形

- 1—弹顶机构 2—下模座 3—凹模套
4—定位 5—凸模 6—上模座 7—凸
模固定板 8—顶料板 9—硬质板

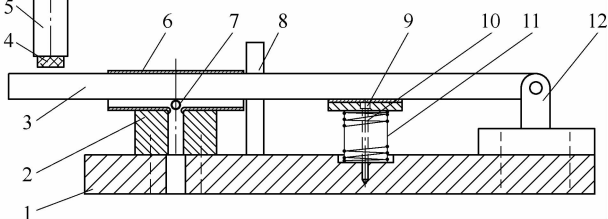
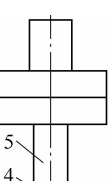
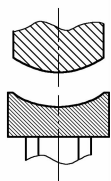


图 5-29 钢球翻边模

- 1—模座 2—凹模 3—压杆 4—橡胶弹性体 5—上模
6—管材 7—钢球 8—管材定位挡板 9—压杆抬升座
10—限位螺钉 11—弹簧 12—支座

该模具结构简单，在长度方向上几乎不受限制，但模具的悬臂强度受到钢管内径大小的限制。在管材内径 $\geq 40\text{mm}$ 的情况下，可以对较厚的管材实施翻边。

该设计在上模下加装了橡胶弹性体4，起到降低噪声的作用；限位螺钉10可以调整压杆3的高度。

7. 翻内径作外径快装（金属网片包覆圈）模

如图5-30所示为捞子网口成形模，也可用于其他筒形件（例如发动机空气滤清器）金属网片的包覆圈的制作。

模具的主要部分由胀形锥8、膨胀块4、回位弹簧3和6及下模座1组成。

膨胀块是按工件成形后的内径配作尺寸，材料调质处理后经车削加工而成的。然后分为若干等份，并切去一定的缝隙以保证缩小后与预制圈有合理的间隙。回位

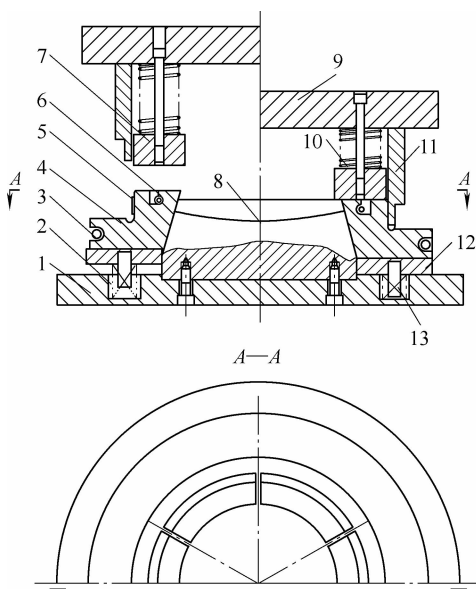


图 5-30 翻内径作外径快装模

- 1—底座 2—弹簧 3、6—回位弹簧 4—膨胀块
5—预制圈 7—压块 8—胀形锥体 9—上模座
10—强力弹簧 11—上模 12—托板 13—弹簧心轴

弹簧 3、6 在膨胀块 4 处于自由状态时对其起到束紧的作用。

预制圈 5 套在膨胀块 4 上时，模具处于复位状态，膨胀块 4 外径小于预制圈 5 的内径。上模下行后，压块 7 在强力弹簧 10 的作用下，克服弹簧 2 的上顶力，迫使膨胀块 4 向下移动并同时向外张开，外径增大，工件内径与膨胀块外径贴紧。当膨胀块已下行到底时，外径不再增大。上模继续下行，将预制圈 5 推向 R 槽逐渐成形。受压后的材料沿上模外径向上，形成新的外径，并与原外径形成规定的空隙，作为金属网片的容纳空间。

上模上行时，工件留置在下模上，膨胀块在弹簧 2 和回位弹簧 3、6 的联合作用下，外径缩小，给工件取出提供了方便。

在托板 12 或胀形锥体 8 平面下增加或减少垫片（图中未画出）的厚度，可以调整膨胀块直径的大小。

这款模具工作可靠，对坯料的要求不高，甚至可用于搭接碰焊的料圈。

8. 带顶底翻孔模

图 5-31 所示为带顶底翻孔模适用于厚料翻孔。

9. 管材翻卷成形

管材翻卷成形是从传统的冲压翻边工艺发展起来的特种成形工艺，它是通过模具对管件施加轴向压力使管材口部边缘产生局部弯曲的变形过程。利用此项技术制造零件具有工艺简单、工序少、成本低、质量好等一系列优点，甚至可以生产出用其他冲压方法难以得到的零件。此工艺已在汽车、航空航天等工业领域得到广泛应用。

管材翻卷成形有两种基本方式，外翻卷和内翻卷，如图 5-32 所示。

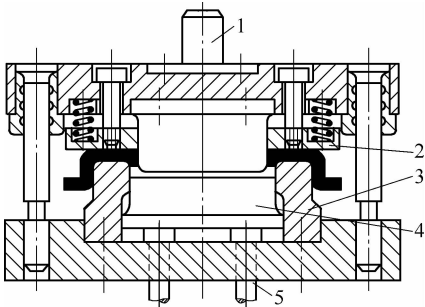


图 5-31 带顶底翻孔模
1—凸模 2—卸料板 3—凹模
4—顶件器 5—弹顶器

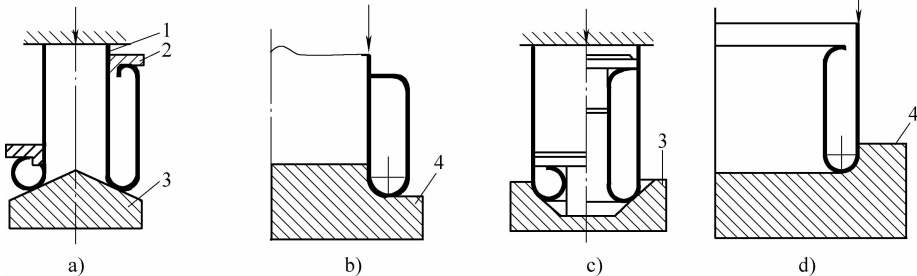


图 5-32 管材翻卷成形示意图
a)、b) 外翻 c)、d) 内翻

1—管坯 2—导流环 3—锥模 4—圆角模

管材翻卷工艺除了能有效地成形多种筒类双壁管或多层管零件外,还可以加工凸底杯形件、阶梯管、异形管(见图5-33)以及半壁双管、环形双壁汽筒、空心双壁螺母、热交换器、汽车消声器、电子工业中的波导管等。目前上述零件一般采用多工步冲压和焊接方法加工,难度大,费用高,外观质量差。采用翻卷工艺可保证零件使用可靠性,轻量化,节省原材料。

适于进行翻管作业的管形材料很广泛,如铝合金、低碳钢、奥氏体不锈钢等,从 $\phi 5\text{mm} \times 0.5\text{mm}$ 到 $\phi 250\text{mm} \times 5\text{mm}$ 规格的管坯,都可以成功地翻成双层管。

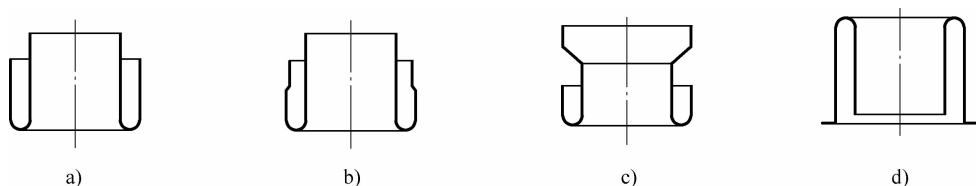


图 5-33 翻卷工艺加工成形的制品

a) 锥形模翻管 b) 翻管 + 辗压 c) 翻管 + 扩口 d) 拉伸翻管

翻管是一个复杂的变形过程,它涉及从扩口变形转化为卷曲变形,从卷曲变形到翻卷变形。要保证变形模式的顺利转化,必须满足变形时的力学几何和塑性条件,其中最主要的工艺参数是翻管力、模具半锥角、管材的相对壁厚和管材的塑性条件。

(1) 外翻卷 管坯在轴向压力下从内向外翻卷,使管材的内壁翻卷成外壁。翻卷后的管径变大。翻管时外压载荷虽使管壁有所墩粗,但由于外翻时产生的周向拉应力作用更强,因而会令管壁变薄。

外翻管的模具形式主要有锥形模、环槽模和拉伸翻管模。

当需要加工双层管而采用锥形模、环槽模时,上模部分除了向管材施加压力外,还要加装导引环,对已翻卷的材料起引导作用。

1) 锥形模。锥形模是最具有代表性的一种翻管模具。设计锥形模时,主要是确定模具半锥角 α ,使其满足条件,否则将不能实现翻管。根据应力应变和塑性条件计算,考虑到材料延伸率的影响,可以得出半锥角 α 须满足: $22.5^\circ \leq \alpha \leq 55^\circ$ 。

与管材扩口相同的是,翻管最大外径也受到材料伸长率的限制。原则上,翻管直径尺寸可以在材料伸长率和最小卷曲半径之间的任何尺寸上自由选择。当需要翻管前后的直径差较大时,应选用较大的半锥角,当需要翻管前后的直径差较小时,应选用较小的半锥角。

锥形模具有通用性强、摩擦力小、结构简单、易于制造的优点,但管坯在锥形模上变形时,容易滑动,难于准确地对中定位,翻卷处于自由变形状态,只是由最小阻力和应力平衡的原则决定其形状,受材料结构非均匀性的影响大,而难于制造出高质量的管制件。为了防止管端在锥模上滑动,在锥头上做成带柱面的导向位,可获得明显的改善,如图5-34a所示。

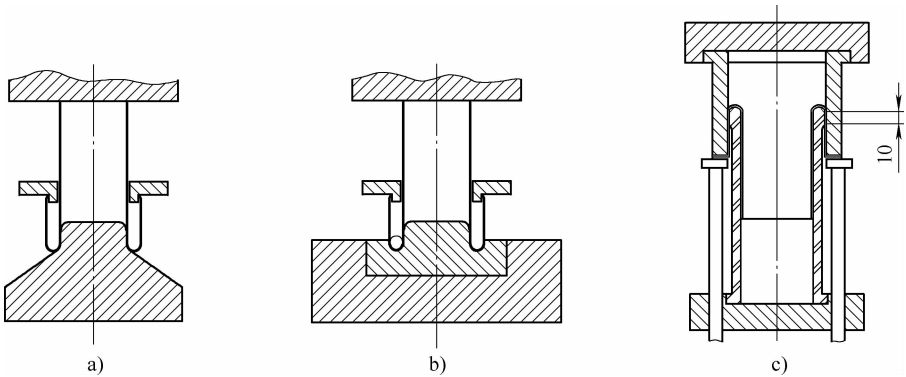


图 5-34 翻管模

a) 带定位锥形模 b) 环槽圆角模 c) 拉伸翻管模

2) 环槽圆角模。环槽圆角模是管端翻卷（卷边）模衍生出来的一种翻管模。在有定位凸台的锥形模上，将凸台与锥面的相贯处做成圆锥过渡用以使管坯卷曲变形。这种模具具有良好的对中性，管材翻卷时受到环形槽圆角半径 r 部分的约束，产出的管制件质量稳定，如图 5-34b 所示。

环槽圆角模的设计主要是确定环形槽圆角半径 r 。 r 的大小既决定着圆角部分对管坯变形的约束作用，又决定着翻卷与管坯未变形部分的几何干涉。因此，它是唯一的重要工艺参数，必须大于或等于材料的最小卷曲半径，并小于或等于材料伸长率允许半径。

设计环槽圆角模时，可不进行圆角半径 r 的计算，而是根据经验和图样尺寸给出。通常情况下不锈钢管材的最小卷曲半径为

$$R = 3t$$

最大翻管直径为

$$d = D(1 + 1.4A)$$

焊管最大翻管直径为

$$d = D(1 + 1.3A)$$

式中 d ——翻管直径（mm）；

D ——管坯直径（mm）；

A ——材料的伸长率（%）。

3) 拉伸翻管模。在上述两种形式的模具上翻管，会有发生失稳起皱或翻卷部分弯曲等缺陷，其原因是管坯在变形时，都是处于压应力状态下，拉伸翻管模则是使在外载荷下的管坯的变形部分处于拉应力状态，从而完全消除了翻管时的失稳起皱现象，并且变形区由模具形状决定，因而工件的尺寸精度可以完全由模具控制。因此，对于尺寸精度要求较严的管制件应采用拉伸翻管模来完成。

为了减少已翻管部分的摩擦阻力，翻管模外径工作段长度取为 8 ~ 12mm，其余部

分应予剔空,如图 5-34c 所示。

拉伸翻管模在开始工作前,将管端先扩口成法兰面,供拉伸时作压料用,因此拉伸翻管模所成形的管件外径总是小于材料伸长率所许可的最大外径。

(2) 内翻卷 内翻卷时,管坯由外向内翻卷,成形后外径减小。

1) 硬模内翻卷。在生产实践中,硬模内翻卷应用极少。这是因为,较之外翻卷,内翻卷要困难得多。

内翻卷的成形过程是一个材料不断加厚的过程。在加厚过程中,材料的晶格要重新排列。晶格重新排列所需的力要比材料受拉应力产生延展力(抗拉强度)大4倍以上。而材料的屈服强度总是小于晶格重排力的,这就导致管材在未进入到翻卷过程之前就发生失稳起皱现象,令内翻管无法完成。

实际上,替代内翻卷的工艺方式有很多种,包括用小直径管材外翻、滚轮翻边法和缩径切断后内拉伸翻管(参看图 7-21)。

在上述的三种方法中,应用最多的是小直径管材外翻法,即将坯管的内径尺寸用作所需要管件的内径尺寸,而将外翻后的尺寸作为管件直径。

2) 滚轮内翻卷。利用滚轮进行内翻卷,材料厚度与直径之间存在着一一定的限制,即

$$D/t \geq 200$$

在此条件下才能得以顺利进行。否则,会因为材料聚合产生的抗力过大,导致工件外径成为多棱形。

10. 斗盆成形工艺

斗盆是在面盆的基础上加大了容积形成的。为了提高强度,在经过卷边的外缘上增加了一道翻边工序,如图 5-35 所示。

卷边工序安排在翻边前,可以防止凸缘起皱。翻边过程中卷边部分的变形机理尚不清楚,有待研究,但在实践中是切实可行的。

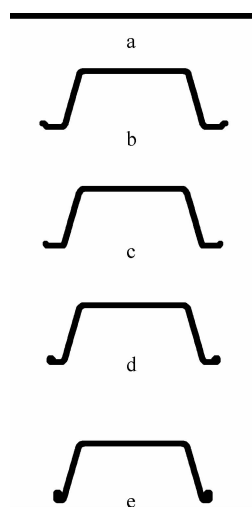


图 5-35 斗盆成形工艺

- a) 圆片落料 b) 拉深
c) 切边 d) 卷边
e) 翻边

第 6 章 胀 形

胀形是利用压力通过一定的介质作用于工件内壁，将管件或筒形件直径胀大的冲压工序，如图 6-1 所示。

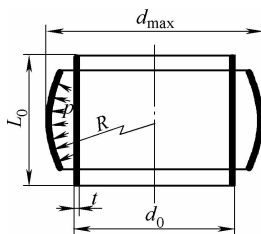


图 6-1 胀形

6.1 胀形方法分类

胀形工艺适合于多种形式的坯料，如拉深坯筒、截管件和卷板锥形焊件。

1. 以胀形介质的分类

按胀形介质不同，胀形方法分类如下：

1) 硬模胀形法。

2) 软模胀形法，也称作橡胶胀形法。用橡胶弹性体作为介质时，可再分为有凹模和无凹模胀形。在有凹模胀形中以可再细分为闭环式凹模和开环式凹模。采用整体材料经车削或铣削加工，工作位形成封闭曲线的称为闭环式凹模；凹模分成多个瓣块，型腔在工作前经由外力作用合拢组成的称为开环式凹模。

3) 液压胀形法。

4) 低熔点合金胀形法。以低熔点合金作为介质，即将熔化的低熔点合金直接浇入坯筒内部或将低熔点合金芯棒置入坯筒内，其胀形过程可以认为是一整体毛坯的径向挤压过程。其优点是不需密封，缺点是装入和清理不方便，且生产效率不高。它适合于强度较高的材料，或虽然强度较低但变形量大而需要成形力大的零件的成形。

5) 其他介质的胀形方法，如石蜡、润滑脂、凡士林之类的半流体介质胀形，其特点是密封性好，可产生均匀的胀形内压力，基本为不可压缩的介质，其不足之处是装入和清理的过程是在加热与冷却中交替进行。

6) 以钢球代替软模或流体的胀形、爆炸成形法等新工艺，如图 6-2 所示。

2. 按模具结构的分类

按模具结构的不同，胀形又可分为自然胀形和轴向压缩胀形。

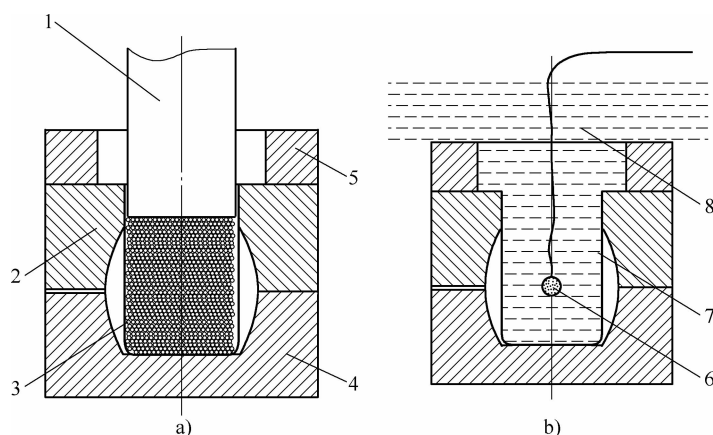


图 6-2 胀形新工艺

a) 以钢球代替软模或流体 b) 爆炸成形法

1—凸模 2—凹模 3—钢球 4—凹模下半 5—压模圈

6—炸药 7—坯筒 8—水

(1) 自然胀形 自然胀形，即在胀形过程中，零件的成形主要靠毛坯壁厚的变薄和轴向自然收缩（缩短）而成形。如图 6-3 所示，自然胀形时，毛坯的壁部主要承受双向拉伸应力的平面应力状态和两向伸长、一向变薄的变形状态。自然胀形的变形情况较为复杂，随着胀形零件的形状和胀形部位的不同，能够胀形的程度差别很大，这是因为在胀形过程中与轴向有无自然收缩和收缩量的大小有关。当成形部分完全靠毛坯壁部的变薄而成形时，其成形极限与材料的伸长率有关，也与毛坯的壁厚有关。这种完全靠变薄而成形的例子，实际上是一种局部成形。

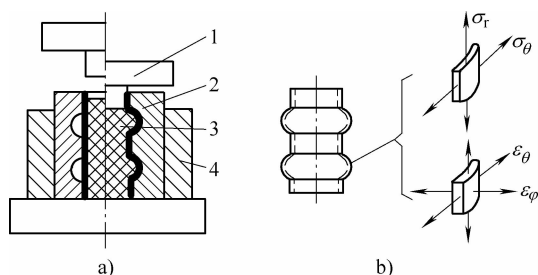


图 6-3 自然胀形及其应力状态

a) 胀形过程 b) 零件与应力应变状态

1—压力头 2—组合凹模 3—橡胶

弹性体棒 4—凹模座

(2) 轴向压缩胀形 轴向压缩胀形，即在胀形的同时，沿坯筒轴向施加挤压力而进行压缩成形，故也称为塑挤胀形。在生产实践中，为了提高胀形系数，使材料满足成形极限值的需要，通常采用轴向压缩胀形。采用轴向压缩的结果，使胀形区的应力、应变状态得到了改善，有利于塑性变形。譬如，在轴向压力足够大时，变形区的轴向拉伸应力变为压应力，即变为一拉一压的应力状态，而应变状态也可能由如图 6-4 所示的厚度变薄、径向及轴向伸长变为轴向压缩、径向伸长，而厚度可能不变薄或变薄很少，这就可以显著的提高胀形系数的极限值。

对毛坯所施加的轴向压缩力和对橡胶弹性体凸模所施加的胀形力可由同一零件给出，也可分别由两个或三个零件（双向压缩）给出。

随着毛坯的轴向压缩力与对橡胶弹性体的胀形力的大小及其比值的不同，胀形区域上材料所受的应力、应变状态可能很不一样。应力状态中的轴向应力，一般应为压应力状态，但当对毛坯的压力不足，或对毛坯的压力与对橡胶弹性体的胀形力的比值过小，也可能形成拉伸应力状态。这在本质上与不带轴向压缩的自然胀形是一样的。其应变状态一般应为一拉一压的平面应变状态，或一拉两压的体积应变状态，在结合具体零件的模具设计中注意区分。

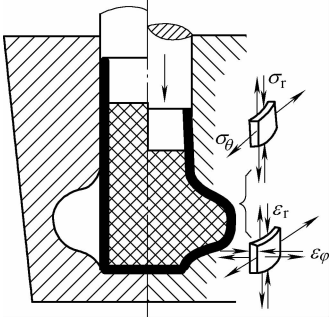


图 6-4 轴向压缩胀形时的应力、应变状态

6.2 胀形工艺的特点

以软模胀形为例，胀形工艺有如下特点：

1) 胀形时，工件的塑性变形基本局限于变形区范围之内，材料不会向变形区外转移；受拉伸应力影响，有少量材料从变形区外进入变形区内。

2) 工件变形区内的材料，处于两向受拉的应力状态，而且变形区内工件变化是由表面局部增大而实现的，故而胀形时工件一般都要变薄。因此，在考虑胀形工艺时，主要是防止材料受拉破裂。

3) 胀形的极限变形程度，取决于材料的塑性。材料塑性越好，伸长率越大，则可能达到的极限胀形系数也越大。

4) 胀形时，材料处于双向拉伸应力状态，在一般情况下，变形区的工件不会产生失稳或起皱现象；胀形成的工件，表面质量良好。

5) 胀形后的工件回弹现象极小。这是由于工件在胀形时，在变形区厚度方向上只有拉伸应力，并且分布均匀。所以，在受力状态下的工件的几何形状易于冻结，基本达到预想的形状，回弹只有 0.5% 左右，如图 6-5 所示。

胀形工艺无论在轴向或径向，都可得到清晰的阴线轮廓，而不能得到清晰的阳线轮廓，如图 6-6 所示。

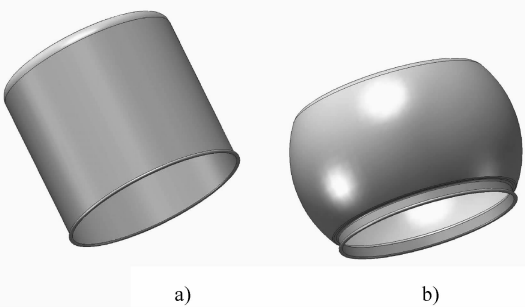


图 6-5 胀形工艺
a) 坯筒 b) 工件

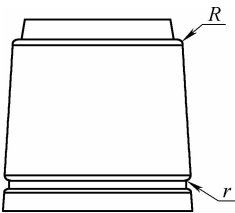


图 6-6 阴角与阳角
R—阳角 r—阴角

6.3 胀形系数

管料或拉深圆筒的胀形变形程度通常用胀形系数 K 表示，其计算式为

$$K = \frac{d_{\max}}{d}$$

式中 $d_{\max}$ ——胀形后零件的最大直径（mm）；

d ——胀形前坯筒直径（mm）。

零件胀形部分的最大伸长率 ε 为

$$\varepsilon = \frac{L_1 - L_0}{L_0} \leq 0.75A$$

式中 L_0 ——胀形前胀形部分的毛坯周长（mm）；

L_1 ——胀形后胀形部分的最大周长（mm）；

A ——材料的伸长率（%）。

胀形系数 K 与材料伸长率 A 的关系为

$$A = \frac{d_{\max} - d_1}{d_1} = K - 1$$

或 $K = 1 + A$

胀形部分的壁厚变化，大致可按下式计算

$$t_1 = \frac{d_1 t_0}{d_{\max}}$$

式中 t ——最大胀形处的壁厚（mm）；

t_0 ——毛坯的壁厚（mm）；

$d_{\max}$ ——胀形处的最大直径（mm）；

d_1 ——毛坯直径（mm）。

表 6-1 列出了一些金属材料自然胀形的极限胀形系数和切向许用伸长率的试验数值，可供使用时参考。若零件的胀形系数大于表 6-1 中的极限胀形系数时，则需采取多次胀形，并在胀形工序之间安排再结晶退火工序。

表 6-1 极限胀形系数和切向许用伸长率试验值

材 料		厚度/mm	K
铝合金	3A21M	0.5	1.25
纯铝	1070A、1060、1050A、1200	1.0	1.28
		1.5	1.32
		2.0	1.32
黄铜	H62、H68	0.5 ~ 1.0	1.35
		1.5 ~ 2.0	1.40

(续)

材 料		厚度/mm	K
低碳钢	08F、10、20	0.5	1.20
		1.0	1.24
不锈钢	06Cr19Ni11Ti	0.5	1.26 ~ 1.32
		1.0	1.28 ~ 1.34

在对坯筒施加内压力 p 的同时，也在轴向加压进行胀形，其极限胀形系数可以增大。若对坯筒变形区进行局部加热，更会显著提高极限胀形系数。铝坯筒在不同条件下胀形，由试验确定的极限胀形系数见表 6-2。

表 6-2 铝坯筒的极限胀形系数 $K_{\max}$

胀形条件	$K_{\max}$	胀形条件	$K_{\max}$
用橡胶的自然胀形	1.20 ~ 1.25	用橡胶并对管胚轴向加压的胀形	1.6 ~ 1.70

石蜡胀形时不同材料的极限胀形系数见表 6-3。

表 6-3 石蜡胀形法的极限胀形系数

材料		筒坯原始厚度/mm	$K_{\max}$
纯铜	T3	0.5	1.59
黄铜	H62	0.5	1.53
钢	20	0.5	1.54
不锈钢	06Cr19Ni11Ti	0.5	1.49

波纹管的变形程度也用胀形系数表示，其极限胀形系数 $K_{\max}$ 与材料的塑性有关，一般来说， $K_{\max} = 1.3 \sim 1.5$ 。当波纹管的胀形系数 $K > 1.5$ 时，必须进行多次胀形，中间增加退火工序，以恢复材料的塑性。

据资料介绍，自然胀形时，其胀形系数 K ，低碳钢为 $1.15 \sim 1.2$ ，不锈钢为 $1.26 \sim 1.32$ 。但对毛坯施加以轴向压缩时，则其胀形系数 K 对低碳钢可提高到 $1.4 \sim 1.5$ ，对不锈钢可提高到 $1.6 \sim 1.7$ 。胀形系数的上限主要受冷作硬化的影响。

6.4 胀形坯筒尺寸

胀形坯筒尺寸主要包括坯筒直径和长度，而坯筒壁厚通常取与胀形零件壁厚相等。

(1) 坯筒直径 当管件直线段部分（非胀形区域）的直径无严格要求时，坯筒直径可据胀形系数 K 确定，即

$$D = \frac{D_{\max}}{K}$$

式中 D ——坯筒直径（mm）；

$D_{\max}$ ——坯筒胀形后的最大直径 (mm);

K ——胀形系数 (mm)。

(2) 坯筒长度 坯筒长度可按变形前后侧素线长度相等的方法进行估算, 最后经试模修正, 如图 6-7 所示。

为便于材料流动, 增加材料在切向 (周围方向) 的可能变形和减少材料的变薄率, 在胀形时坯筒两端一般不加固定, 使其自由收缩。因此, 胀形变形区的坯筒长度 L 应比管件的胀形区长度 L' 增加一收缩量。胀形变形区的坯筒长度的计算式为

$$L = L_1 (1 - cA) + B$$

式中 L ——胀形变形区的坯筒长度 (mm);

L_1 ——管件胀形变形区素线的长度 (mm);

A ——管件胀形变形区的切向最大伸长率, $A = \frac{d_0 - d}{d}$;

c ——考虑切向伸长而引起高度缩小的影响系数, 一般取为 0.3 ~ 0.4;

B ——修边余量, 一般取 $B = 5 \sim 15\text{mm}$ 。形状对称的简单胀形件, B 取较小值; 形状不对称的复杂胀形件, B 应取较大值, 有时可取 $B = 20\text{mm}$ 。

如果胀形区位于坯筒的某一区段 (见图 6-5b), 则取坯筒直径等于管件直筒部分直径。而坯筒总长度等于胀形变形区所需长度与管件直筒部分长度之和, 即

$$L_0 = L + L_{\text{直}}$$

式中 L_0 ——坯筒总长度 (mm);

L ——胀形变形区所需坯筒长度 (mm);

$L_{\text{直}}$ ——管件直筒部分长度 (mm)。

(3) 轴向压缩胀形的坯筒长度 轴向压缩胀形的坯筒长度按体积相等原则计算。

由于在自然胀形的同时又在坯筒两端施加轴向压力, 使坯筒产生轴向压缩变形, 补偿了胀形变形区材料的不足, 因此使坯筒长度有所增加。

设坯筒体积为 $V_{\text{坯}}$, 管件体积为 $V_{\text{件}}$, 即

$$V_{\text{坯}} = \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2) L_0$$

$$V_{\text{件}} = V_1 + V_2$$

则根据体积相等原则, 坯筒总长度为

$$L_0 = \frac{4(V_1 + V_2)}{\pi(D^2 - d^2)} + \Delta_1$$

式中 L_0 ——坯筒总长度 (mm);

D ——胀形内径 (mm);

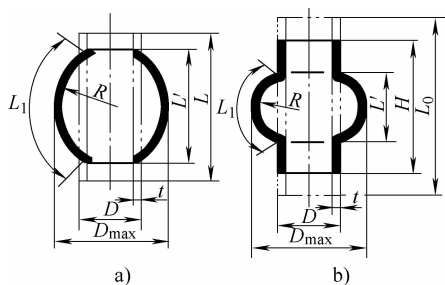


图 6-7 工件胀形部分坯筒尺寸

a) 自然胀形 b) 轴向压缩胀形

- d ——坯筒内径 (mm);
- V_1 ——管件胀形变形区的体积 (mm^3);
- V_2 ——管件直筒部分的体积 (mm^3);
- Δ_1 ——切边余量, 一般取 5 ~ 10mm。

6.5 胀形力

液压自然胀形时, 所需胀形力可简化计算。液压胀形时所需的单位压力, 与胀形件的形状、材料厚度和力学性能以及胀形变形条件等因素有关。在坯筒两端不固定、允许轴向自由收缩的变形条件下, 液压胀形时的受力分析如图 6-8 所示。

液体单位压力的计算公式为

$$p = \frac{2t}{D_{\max}} R_m$$

式中 p ——液体单位压力 (MPa);

R_m ——材料抗拉强度 (MPa);

t ——材料厚度 (mm);

$D_{\max}$ ——胀形后最大直径 (mm)。

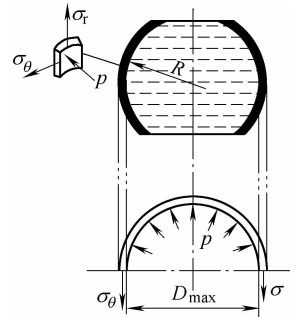


图 6-8 液压胀形受力分析

求出单位压力 p 后, 为安全选用设备起见, 液压胀形力的计算式为

$$F = pA$$

式中 F ——液压胀形力 (N);

p ——液体单位压力 (MPa);

A ——最大胀形投影面积 (mm^2)。

由此可见, 设计时主要计算液压机所提供的总吨位是否能产生大于管材壁厚和中径周长与材料抗拉强度的乘积所需的单位压力。超出此范围之外, 液压机功率的大小, 只与生产速度发生关系。为此, 批量不大的情况下, 也可以选择中小型号的液压机生产。

6.6 胀形模设计

6.6.1 硬模胀形设计

硬模胀形的优点是工作速度快, 模具简单且寿命长, 无易损件消耗, 无须大型机床。硬模胀形可分为柱形塞整体胀形和分瓣式胀形。

1. 柱形塞胀形模

柱形塞胀形具有成形尺寸稳定的优点, 通常用作变形程度小于 10% 工件胀形或管材定径。其缺点是内壁容易产生划伤。要求内壁光整的工件采用胀形系数 ≤ 1.1 。

柱塞式胀形模入料端有锥角过渡和圆角过渡两种形式; 锥角单边斜度介于 $10^\circ \sim$

15°。如果采用圆角过渡，入料点与水平线的夹角以不大于40°为宜，如图6-9所示。

2. 分瓣式胀形硬模

分瓣式胀形硬模主要由两大部件组成——锥形芯棒和分瓣式滑块。当压力机驱动芯棒做轴向运动时，在斜面的作用下，分瓣式滑块沿锥面做径向运动，向外扩张；使得圆筒件产生直径增大的变形。当胀形结束后，分瓣式滑块在弹簧的作用下，回复到原位，以便将成形后的工件取出，如图6-10所示。

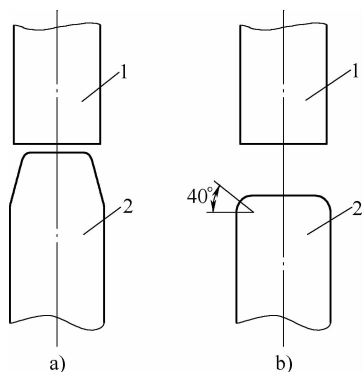


图6-9 硬模胀形

a) 锥角过渡 b) 圆角过渡

1—坯筒 2—凸模

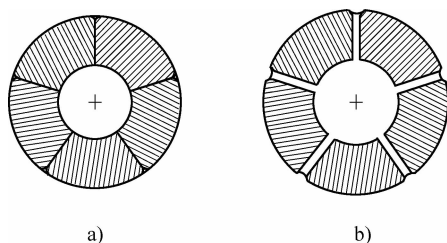


图6-10 胀形量过大形成梅花形

a) 胀形前 b) 胀形后

在行程不受限制的前提下，锥形芯棒的单边斜度一般取在3°~8°。

分瓣式滑块在未分割前是圆柱形整体，直径取胀形后所要求的内径尺寸。分割后拼合的尺寸应能保证坯筒能够顺利套入模具，圆周切除宽度的计算公式为

$$d = d_0 - \frac{xb}{\pi} - z$$

将上式解出得：

$$b = \pi(d_0 - d - Z)/x$$

式中 d ——分割后拼合直径 (mm)；

d_0 ——分割前直径 (mm)；

x ——分割等份数；

b ——切除宽度 (mm)；

z ——模具与坯件间隙 (mm)。

复位弹簧隐藏在滑块的沟槽内。沟槽连同本体一同车削加工，分割后将剖切面倒圆角，避免运行中夹伤弹簧。

分瓣式胀形硬模的分瓣片数越多，则胀形后的工件圆整度越高，但模具结构越复杂，越容易冗于紊乱而不便掌控。其片数一般以3~6片为多。

硬模胀形的胀形量一般宜控制在110%以内，超出此值，分瓣式滑块的边线容易割伤工件或导致破裂。此时若将滑块边线倒角，则成形后的工件成为多瓣状或称为梅花

形。

第一次胀形后将管材转动适当的角度，避开分模线再进行第二次胀形，可以将胀形系数提高到 1.15，但仍有少量失圆。

硬模胀形不用凹模，所以很难得到精度较高的产品。在目前，这种方法多被用于小型薄壁钢管直径扩大工序。而且在后续工艺中添加定径工序，即用比胀形直径略大的圆柱形硬模再通过一次，以得到圆整的外形，如图 6-11 和图 6-12 所示。



图 6-11 分瓣式胀形硬模（长锥柱）

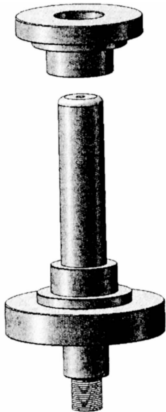


图 6-12 定径模

当胀套的行程有一定的限制，且胀形量较大的情况下，可以采用短锥柱胀形模。短锥柱胀形模工作部分的斜度不大于 40° 。短锥柱胀形模可设计成正装模和倒装模。从入料和出料的角度来看，还是倒装式比较方便。因为倒装模可以将工件挂在分瓣式凹模上，而正装模就失去了这个优势，如图 6-13 所示。

采用弹性装置令凹模向下运动到一定距离后固定不动，然后再添加其他作业动作，短锥柱胀形就可演变成为分瓣式夹具（参看图 5-30）。这种夹具有入料出料方便迅速的特点。

6.6.2 软模胀形设计

利用橡胶作为传递动力的介质，将工件的外壁胀大到紧贴模具内壁，是软模胀形应用最广泛的方法，如厨具中的各种水壶、水杯外壳、异形零件中的绝大多数以及火箭发动机外壳都是用这种方法成形的。

软模胀形法的优缺点：工件的变形相对均

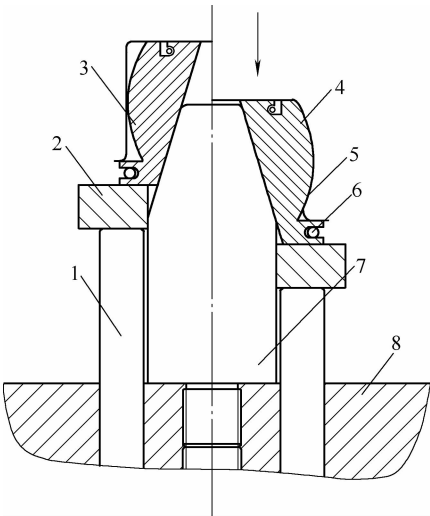


图 6-13 短锥柱胀形模

- 1—顶柱 2—模座 3—拉深坯件
- 4—分瓣式凹模 5—工件 6—弹簧
- 7—凸模 8—工作台

匀，容易保证几何形状，也便于加工形状较复杂的空心件；无机械性损伤，工件表面光滑，容易抛光。如前所述，由于橡胶不可能像液体那样充盈到型腔的细小边角，因此软模胀形法的缺点是不能得到清晰的阳角，如果外观上确有需要，应在胀形后采用辗压工艺予以补充。

1. 橡胶弹性体的物理特性

在橡胶作为介质的软模胀形中，应用最为普遍的是橡胶弹性体。普通橡胶可压缩性大，使用寿命较低。近年来发展起来的橡胶弹性体，得到了越来越广泛的应用。

橡胶弹性体在南方各省被称为黄橡胶或牛筋橡胶，具有十分宝贵的优点，是模具工业中常用的弹性材料。

橡胶弹性体种类繁多，适合于胀形的主要是聚氨基甲酸酯和氨基甲酸乙酯，均具有下列优良性能：

- 1) 硬度范围大，根据工艺要求有充分的选择范围。
- 2) 耐磨程度高。
- 3) 强度高，能承受 100MPa 的压力，甚至能在 1000MPa 的高压下工作。
- 4) 弹性好、变形量大，收缩快、弹性高而剩余变形量小。
- 5) 耐老化、耐油性能好。
- 6) 有理想的机械加工性能。
- 7) 有良好的耐撕裂性。

当然，使用橡胶弹性体也有一些必须考虑的问题，如综合成形能力没有油压的高；单工步变形量必须控制在一定范围内，否则影响橡胶弹性体的使用寿命；耐水解性较差，长期存放于水中或潮湿的空气中易变质；橡胶弹性体对机械缺陷很敏感，对工作表面的要求较高；变形时发热较多，且这种材料耐高温性能差（温度不宜高于 80℃），只能适合于冷加工，还需严格控制压力机的速度和每次的压缩变形量（一般不大于 33% 等）。国产橡胶弹性体及其基本性能见表 6-4。

表 6-4 国产橡胶弹性体及其基本性能

统一标号	A6	A7	A8	A9	
牌 号	8260	8270	8280	8290	8295
邵氏硬度 A	63 ± 5	73 ± 5	83 ± 5	90 ± 3	95 ± 3
伸长率（%）	550	500	450	450	400
拉伸强度/MPa	30	40	45	45	45
300% 定伸强度/MPa	2. 5	5	10	13	15
断裂永久变形（%）	8	8	12	15	18
阿克隆磨耗/（cm ³ /1. 61km）	0. 1	0. 1	0. 1	0. 1	0. 1

(续)

统一标号	A6	A7	A8	A9	
牌 号	8260	8270	8280	8290	8295
冲击回弹性 (%)	15 ~ 30	15 ~ 30	15 ~ 30	15 ~ 30	15 ~ 30
抗撕裂强度/MPa	5	7	8	9	10
脆性温度/℃	- 50	- 50	- 50	- 40	- 40
老化系数 (100℃, 72h)	≥0. 9	≥0. 9	≥0. 9	≥0. 9	≥0. 9
耐溶性 (煤油、室温、72h 的增重率) (%)	≤4	≤4	≤4	≤3	≤3

橡胶弹性体的邵氏硬度越高，其内张力越大，变形越困难；在选择胀形用橡胶时以邵氏硬度 A65 左右为佳；低于 60 时，工作次数不多即会胀大，令入模困难，并且在表面产生粘连。高于 70 时，所需压力会激剧增大。另一种可能发生的情况是型腔尚未完全充满前，橡胶的胀形力已在部分区域超过容腔模具的承受力，导致模具爆裂。

胀形工作是通过橡胶弹性体的变形，把压力机的压力传递到坯筒上，使坯筒按预定的要求发生变形来实现的。在胀形过程中，橡胶弹性体受压后，其形状首先发生变化，基本充填由坯料和冲头组成的型腔，此过程压力不大。

在后续阶段，当冲头进一步动作时，橡胶弹性体的体积受到进一步压缩，压力急剧增大，挤压坯料发生塑性变形，建立起均匀稳定的压力场。

橡胶弹性体受压建立起稳定的压力场后，其工作原理、工作状态与液压的情况基本相似，不同的是橡胶弹性体胀形中坯筒和橡胶棒之间存在摩擦。设计合理时，摩擦力场分布的方向与变形的方向是一致的。当外力撤除时，橡胶棒又能恢复原状，可方便地从成形件中抽出，因而橡胶弹性体胀形可在普通液压机上完成，不需增添专门的设备。

橡胶弹性体受压后发生体积变形是一种渐进的过程，弹性体中力的传递需要一定的时间。经验表明，软模胀形不宜在高速机械压力机（冲床）上进行，否则橡胶弹性体会很快产生裂纹，裂纹之间的摩擦令橡胶体产生碎屑而失去胀形能力。除此之外，压力机滑枕上行时橡胶弹性体产生强烈的反弹，导致曲轴铜瓦失油，压力机干摩擦运行，致使压力机工作性能在短时间内恶化。

值得注意的是随着行程的变化，压力增加，橡胶表面张力被克服，橡胶体被压迫至逐渐充满容腔。橡胶体内的压应力，在克服了工件变形的抗力之后，全部转为对型腔的胀力。胀形模总是有一端相对较小，此时的冲头或凸模当于液压泵的小活塞，橡胶相当于液体，容腔则相当于大活塞。因此，容腔可以得到倍增的总压力。这种力最终是由凹模来承担的，生产中时有发生胀爆凹模的情况。所以凹模的韧性是模具设计时应予特别关注的，务必留有较大的裕量。因此，高碳高铬模具钢胀形凹模在淬火后要求高温回火，将硬度降低到 42 ~ 46HRC。

2. 橡胶弹性体的变形特点

橡胶弹性体的受压变形程度除了受压力大小的影响外，还与表面张力大小有密切的关系。在受压初始阶段，其变形特点与钢材热锻的变形是一致的，即由圆柱体变成鼓形体，如图 6-14a 所示。

换言之，橡胶弹性体的变形程度取决于压力影响区域内截面积与表面积之比。比值越大，变形量越大，变形时序越趋前；比值越小，变形量越小，变形时序越滞后，如图 6-14b、c 所示。

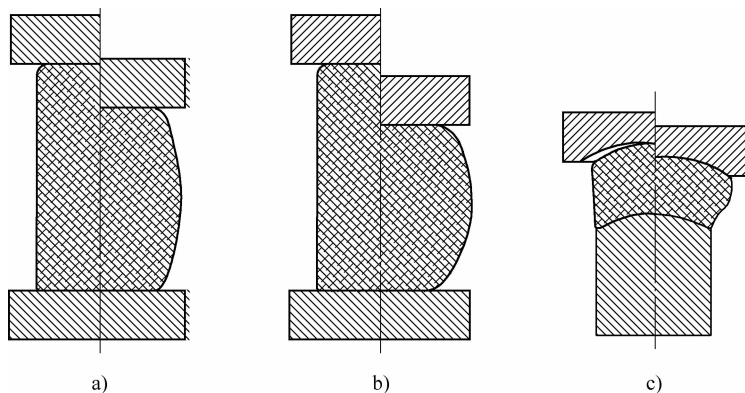


图 6-14 橡胶弹性体的变形特点

a) 柱形橡胶 b) 锥形橡胶 c) 双球面橡胶

认识到这一点，即可在设计工作中加以利用，趋利避害。

橡胶弹性体的受压变形的数学模型为

$$Q = \frac{fd_s}{\gamma_s}$$

式中 Q ——变形量 (mm)；

f ——凸模压力 (N)；

d_s ——截面积 (mm^2)；

γ_s ——影响区域表面积 (mm^2)。

3. 橡胶弹性体胀形模的设计

(1) 工件分类 在餐厨具加工业中，工件一般可分为两大类：鼓形件和哑铃形件。它们的区别是，侧素线上只有一个高点的称为鼓形件，侧素线上有两个以上高点的称为哑铃形件。

(2) 凹模形式 凹模成环状整体的称为闭环式胀形模。凹模分成多块，工作中由模套或外力使其合拢的称为开环式胀形模。

(3) 橡胶弹性体胀形模的设计要点 橡胶弹性体胀形模的设计要点包括以下内容:

1) 闭环式胀形模适合于鼓形件成形, 其分模线开在胀形直径最大的位置。

2) 闭环型容腔模材料应能保证模具在热处理后有较高的表面硬度和较软的芯部硬度。较高的表面硬度容易抛光, 软的芯部硬度则令模具有较好的韧性, 能经受胀形力的反复冲击。材料与工艺的选用顺序依次为: 低碳钢渗碳淬火→中碳钢正火→合金模具钢 Cr12。

3) 闭环型容腔模材料采用 Cr12 之类的合金钢时, 其热处理硬度可降低至 42 ~ 46HRC; 或在凹模圈外加装 1 ~ 2 道保护圈, 防止凹模爆裂。保护圈采用低碳钢材料, 与凹模热套, 可获取较大的预应力。

4) 开环式胀形模, 适合于哑铃形件成形。虽然模具加工周期和成本比较高, 但是不存在模具因内应力聚集而爆裂的问题, 寿命长, 出料快。

5) 哑铃形工件采用开环式模具时, 如果工件直径和环形凸起高度都不大时, 其分瓣数目也可以少至二片对开。

6) 冲头顶端光洁度越高、摩擦力越小, 橡胶寿命越长, 有利于长期工作状态下产品质量稳定。从成本与寿命的角度考虑, 材料与工艺的选用顺序依次为: 低碳钢渗碳淬火→中碳钢调质→球墨铸铁表面淬火→合金模具钢 Cr12 淬火。位置越往后, 模具寿命越长。一般来说, 凹模并不需要很高的硬度, 而应有较高的抗拉强度, 因而低碳钢渗碳淬火是最好的选择。

7) 胀形后的工件, 宽度少于 $10t$ 的凹槽难于成形。如果产品外观强调线条清晰, 只会极大地增加机床压力和缩短橡胶寿命。因此, 这类元素在胀形工序中只胀出锥形, 然后增加一道滚压工序, 可以很方便地得到线条清晰的外观。

8) 基于同样的原因, 工件上、下端肩部的转角也很难得到清晰的轮廓。可在胀形后增加一道滚压工序, 利用芯棒上的交角将工件肩部顶出。

9) 以拉深件作为坯筒的胀形模, 一般以倒装式设计为宜, 其优点坯料可以挂在橡胶弹性体棒上并且出料方便。以卷板焊接件作为坯筒的, 事先应将其一端作缩口处理, 内径应小于橡胶弹性体棒上端尺寸。

10) 胀形模中的适当位置可安置缩口或整形模, 集缩口、整形与胀形于一体, 可以缩短工艺路线并保证工件有良好的同轴度。

11) 开环式容腔(分瓣型胀形模)的合模锥套应有较大壁厚以保证强度。合模斜角一般取为 $12^{\circ} \sim 15^{\circ}$ 。过小, 上下模容易发生压力性胶结, 不易分离; 过大, 则锥套强度不够或多占用材料。

12) 离压力作用端较远部位的成形, 由于摩擦阻力的作用而造成压力损失和不均匀, 往往不易达到目的, 常需采用一种均力环的锥形块。在均力环锥形面的作用下, 使弹性体部分垂直压力导流到需要成形的部位, 使容腔内压力更加均匀, 从而达到成形的目的。均力环锥角一般为 $90^{\circ} \sim 120^{\circ}$ 。

13) 合理选用橡胶邵氏硬度。

(4) 型腔填充 型腔填充是关系到胀形成功与否的关键所在, 与橡胶弹性体的形

状、体积关系密切，橡胶弹性体胀形模受橡胶内张力的牵制，工作时压力机必须先克服内张力，模具容腔转角半径 R 越小，所需压力越大。所以在凹模设计时应尽量避免狭小的空间与转角，尤其是靠近冲头端。

(5) 排气 橡胶弹性体胀形模在受压状态下，总是从表面积与横截面积之比最小处率先变形。当橡胶为柱状体的时候，中间段先行与坯筒壁贴合，形成完全密闭的空间，将一部分空气关死在拉深坯筒内面。当橡胶体继续受压时，空气体积减小后温度升高，导致橡胶体发热并伴生有溶胶和表面发黏现象。在这种情况下，卸压后的橡胶体很难恢复到原有直径，而是很快“长胖”。因此，为了排气顺利，拉深件胀形模的橡胶不应是柱状体，而是自上至下取有 $0.5^\circ \sim 1^\circ$ 斜角锥柱体，如图 6-15 所示。橡胶为柱状体时只适应截管件或筒形件，此时应在模具上端开排气孔或沟槽。

(6) 圆角 橡胶弹性体虽然抗撕裂性能良好，但在长时间频繁的交变受力工况下，对于原生性的裂纹和机械损伤十分敏感。投入生产前的橡胶弹性体，不允许存在尖锐的棱角和划伤，而是要求用大于 $R4$ 的圆角倒圆或过渡。

(7) 原浆浇注 在批量较大的前提下，胀形用橡胶弹性体最好是采用原浆浇注的方法成形，同样的工作条件下，原浆浇注与棒料经车削加工的橡胶体，前者的寿命是后者的 2 倍以上，如图 6-16 所示。



图 6-15 胀形用橡胶弹性体外观通式



图 6-16 原浆浇注带钢制螺纹接头的橡胶弹性体

(8) 冷却 操作时，允许用水或氯化石蜡溶液对橡胶弹性体进行冷却。

4. 胀形用橡胶弹性体设计与计算

(1) 橡胶压缩量及硬度的选择 橡胶的压缩量是指橡胶体在自由状态与受压状态下的高度差。橡胶的压缩量和硬度对零件的胀形精度影响很大，最小压缩量一般在 10% 以上时才能确保零件在开始胀形时得到所需的预压力。

胀形的橡胶弹性体的硬度选为邵氏硬度 $A65 \pm 5$ 较合理。较软的适用于成形大圆弧曲面的胀形件，由于其允许的变形量较大，可提高橡胶弹性体的使用寿命，而且也可减小压力机的吨位。但当成形零件要求成形后阴线清晰时，则应采用邵氏硬度的上极限偏差。

(2) 工作寿命 胀形用橡胶弹性体的工作寿命主要地取决于变形程度。

橡胶变形程度的计算式为

$$\xi = \frac{A_s}{D_s} \times 100\%$$

式中 ξ ——橡胶变形程度（%）；

A_s ——容腔最大截面积；

D_s ——橡胶最大截面积。

计算所得的值 ξ ，应小于 133%；大于此值，就可考虑分两道工序完成或采用液压胀形。 ξ 值超过 133%，在橡胶体充满容腔之前，即有很大一部分能量消耗在橡胶体本身变形中。这种无用功于橡胶体本身也是十分有害的，会极大地缩短橡胶体的寿命。

橡胶总体积应比凹模容腔体积略大，两者的比例控制在 103% ~ 108%。冲头与橡胶小端接触面成球顶状，可加快橡胶体流动，增强的填充性能，但球心角应小于 60°。

（3）橡胶体尺寸的确定 橡胶弹性体棒的直径以经多次变形后仍然易于进出坯筒为原则。初始加工的最大直径一般可比坯筒内径小 0.8 ~ 1.5mm。取得过小，会增加橡胶弹性体的压缩变形量，从而降低其使用寿命。

一般经 20 次左右胀形，橡胶弹性体回弹后的形状已基本定型，若此时有“涨胖”现象而影响入料，可再进行一次车削。计算出变形程度后，就可以换算出最大高度了。

橡胶体的高度按等体积计算，变形前的高度为

$$L_0 = \frac{Hd_0^2 + hd^2}{d_0^2}$$

式中符号如图 6-17 所示，其中 H 为零件底部不变形部分的长度。

5. 橡胶弹性体胀形模的胀形力

橡胶胀形如图 6-18 所示，橡胶块 4 被封闭在坯筒 3 内，当压射冲头 1 对橡胶块下压且压缩量达到一定值时，橡胶的单位压力便急剧增加，这与液体在封闭容器内受压情况相似。

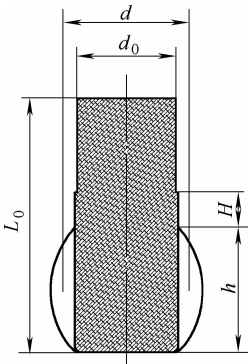


图 6-17 橡胶棒的尺寸

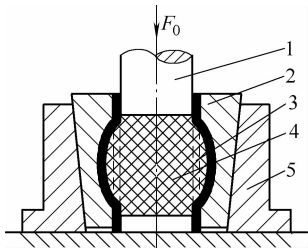


图 6-18 橡胶胀形示意图
1—冲头 2—凹模 3—管坯
4—橡胶块 5—模套

橡胶胀形时,除需对坯筒径向施加足够的单位压力外,还需克服橡胶本身的变形力。因此,橡胶胀形的总压力应为材料胀形力与橡胶本身变形力之和。

橡胶本身变形力,无论普通橡胶还是橡胶弹性体,发生形变的力的大小,都受到橡胶邵氏硬度、立体形状、截面积与表面积之比等诸多条件的关联和制约,还与本身的绝对体积有密切关系,因此目前还不能给出准确的数值,只能根据经验予以概算。在邵氏硬度 $A \leq 70$ 的前提下, u 橡胶本体变形力可取为材料变形压力的 $0.3 \sim 0.45$ 。

因此,为了简化计算,橡胶弹性体胀形模的总胀形力估算式为

$$F_{\text{总}} = 1.45F$$

式中 $F_{\text{总}}$ ——总胀形力 (N);

F ——工件胀形力 (N)。

6. 橡胶弹性体损坏后的修复

胀形用橡胶弹性体的硬度越高,压缩量越大,橡胶体越是容易损坏,寿命越短。

橡胶弹性体最容易损坏的地方是下端转角处,这部分的长度往往不足总长度的五分之一,如果全部更换,就会造成资源浪费,可根据情况酌情修复。

修复的方法:将损坏的地方切除,并将平面车削成约 60° 的球心角;换上邵氏硬度相同的橡胶,用氯丁橡胶粘结剂、聚氨酯粘结剂或立时得粘合,恢复原状,干后即可投入使用,如图 6-19 所示。

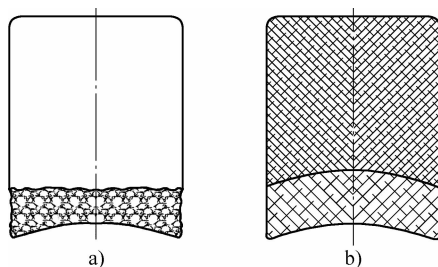


图 6-19 橡胶弹性体修复

a) 损坏件 b) 修复件

6.6.3 液压胀形设计

液压胀形法是将坯件放入凹模内,利用机械能或压缩气体的势能转换成高压液体介质向坯件容腔充压,而使坯件外壁在压力作用下贴模成形的。

液压胀形能够根据工件需要很方便地选择合理的胀形力和胀形速度,能够获得最大的胀形系数,而且成形后工件的阴角和阳角均能取得满意的效果。液体的密封需要周密的设计,因为关系到液力传动和介质密封等问题,设计者需要获取了一定的液压设计知识之后才能熟练地掌握。

液压胀形适用于中大型工件成形,胀形直径为 $300 \sim 2000\text{mm}$ 。其最大优点是传力均匀,能令材料在最有利的条件下成形,工艺简单,工件表面光滑。液压设备可以通用,成本低廉。

液压胀形的模具形式有坯件与液体直接接触(见图 6-20a、b)和液压—橡皮膜两种。后一种形式很好地解决了液体密封的问题,据相关资料,橡胶膜寿命已达 50000 次,具有较高的经济价值,如图 6-20c 所示。

液压胀形正处在推广和扩大适用范围的阶段,现在多数厂家都采用皂化液或液化石

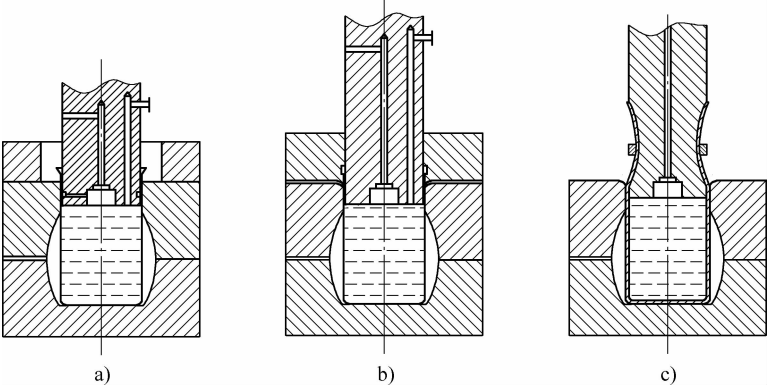


图 6-20 液压胀形法

- a) 凸模自带密封, 工件与液体直接接触 (自然胀形, 材料有少量补充到变形区域)
- b) 压板压紧坯筒凸缘密封, 工件与液体直接接触 (变薄胀形, 材料不能补充到变形区域)
- c) 工件不与液体直接接触, 橡胶膜与高压液体组成软体凸模 (自然胀形, 材料有少量补充到变形区域)

蜡替代液压油, 既降低成本, 又省去了除油等后续工序。

图 6-21 所示为大型工件气动-液压胀形设备。

瓶装压缩空气分作两路：一路通入液储罐，将液体压入工件型腔，或在工件成形后逼迫液体快速排出；另一路通入增压器。当工件型腔内完全注满液体并排除了空气后，压缩空气推动活塞大端，令活塞 6 小端的液体增压，工件内壁在高压油作用下贴模成形。工件初步变形后，停止压缩空气供给，向型腔内补充液体后再加压，往复进行，最终将工件成形。因此，工件的变形过程是脉动的。

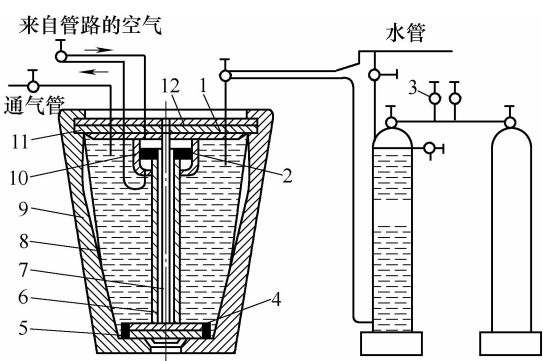


图 6-21 瓶装压缩空气-液压胀形设备

- 1—上压盘 2—活塞 3—空气减压器 4—下压盘
- 5—下密封圈 6—活塞杆 7—拉紧螺栓 8—工件 9—凹模
- 10—气压传动筒 11—上密封垫圈 12—锁紧盖板

市售瓶装氮气可提供的初始压力可达 15MPa。

气动-液压胀形设备结构简单, 材料来源广, 通用性强, 适用于大型工件产品试制和小批量制作, 当更换产品时, 仅需更换模具即可。

采用齿轮泵或叶片泵作为液体的压力源, 可以简化生产程序。现在市场上已有小型的液压站出售。

6.7 胀形模典型结构

6.7.1 硬模胀形典型结构

硬模胀形除了前面介绍的几种形式外，这里再介绍几种方法。

1. “穿裤子”胀形

将直筒件扩口产生凸缘，然后压住凸缘进行胀形，工作过程平稳，工件内壁光滑；这种加工方法俗称穿裤子，是一种优于其他方式的硬模胀形法，如图 6-22 和图 6-23 所示。

2. 竹节胀形模

竹节胀形模是硬模胀形的又一种方式。胀形动作在管材内部完成，管材长度基本上不受限制。胀形套用 65MnSi2 钢车制而成，经热处理后具有良好的弹性。

(1) 小直径竹节胀形模 如图 6-24 所示，小直径竹节胀形模一般安装在机械压力机上。竹节胀套 2 通过管形套 3、胀套连接座 4 固定在胀套座上。斜楔 7 向下运动时，推动滑块 8 向右移动，拉杆 6 拉动胀形塞对工件胀形。斜楔上行，滑块 8 在弹簧 11 的作用下自动复位。小导柱 15 起到保证滑块 8 做水平移动的作用。

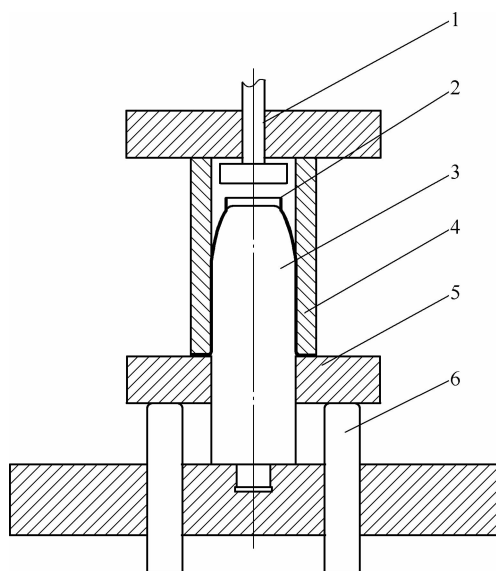


图 6-22 硬模胀形（穿裤子）

1—推料板 2—坯件 3—凸模
4—凹模 5—压料板 6—顶杆

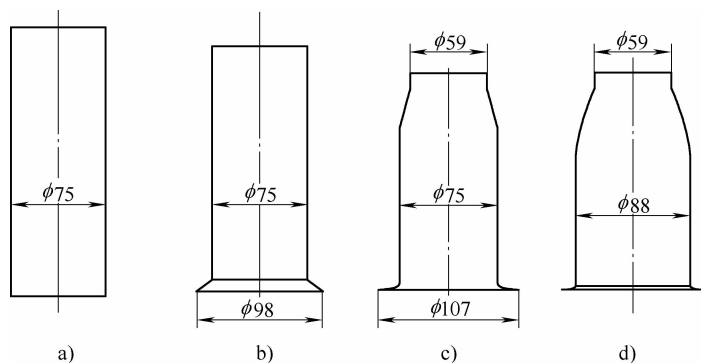


图 6-23 丁烷气体罐成形工艺流程

a) 截管 b) 扩口 c) 缩口 d) 胀形

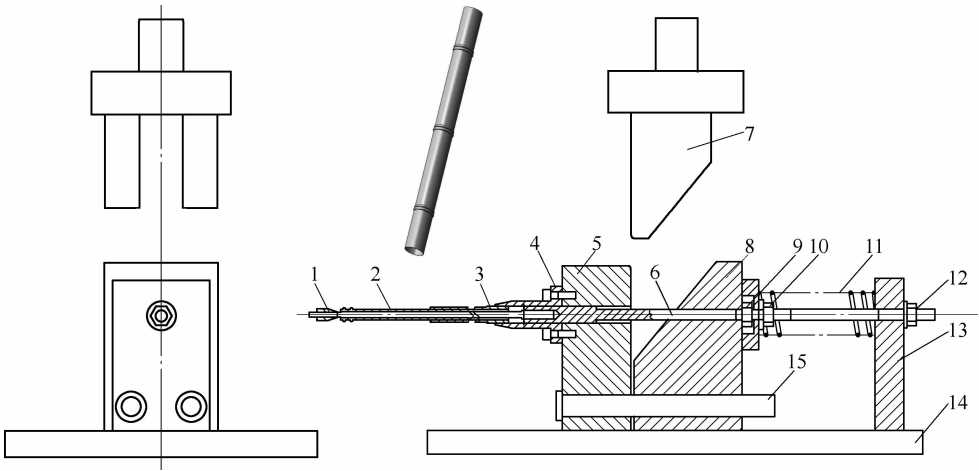


图 6-24 小直径竹节胀形模

1—胀形塞 2—竹节胀套 3—管形套 4—胀套连接座 5—胀套座 6—拉杆 7—斜楔 8—滑块
9—弹簧座 10—进帽 11—复位弹簧 12—螺母 13—靠背 14—底座 15—小导柱

设计胀形套时，必须着重考虑壁厚。弹簧套壁厚过大或过小都不好，以能支持钢管的变形阻力外还有 0.5~1 倍的裕度为好。弹簧套壁厚越大，发生弹性变形时的抗力越大，寿命越短。

理论上处于起弹性作用位置的壁厚越薄，机械疲劳损伤越小。此处的数值大小与胀套直径大小关系不大，而与分割槽的长短、分割等份数目关系密切。分割槽越短，每等份所占角度越大，弹性越差，壁厚值越需取小。在兼顾到胀套强度和热处理应力、变形等因素后，这一段位置的壁厚趋薄，胀套寿命反而会相对长一些。经验表明，弹簧套壁厚与割槽长度的比例控制在 1:30 左右为宜。

弹簧套分割瓣（等分）数为 4~16，直径越大，瓣数越多。通常取偶数以方便线切割加工。分割槽的尾端应作成圆弧，以防止应力向前扩张。

分割槽的切割宜在淬硬并经回火后进行。最好是在尾端用电火花穿孔，由尾部向头部方向加工，头部 3~5mm 不要割穿，所有等分全部割完后进行再次回火，最后将头部剩下的一点割穿。线切割后须经过二次回火，消除线切割对材料组织结构的损伤，晶格细化，对于延长寿命十分有利。

锥形塞的设计要计算到竹节管完全成形时（胀套张开）的角度，否则有可能在成形时将胀套锥面大端折断，令胀套报废。

（2）大直径竹节胀形模 图 6-25 所示为大直径竹节胀形模，出力较大，改用液压油缸提供驱动力，并在前端增加了钢管托，减轻工人劳动强度。传力杆与后座配合公差为 H8/f8，应保持润滑。缸筒外安装传感器用来控制胀形塞拉杆的行程。

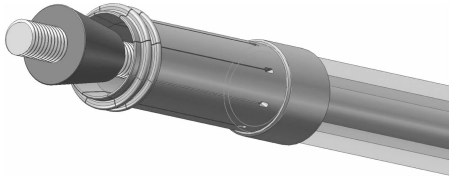


图 6-25 竹节胀形模组装

采用二位三通液压控制阀控制液压缸动作,可以减少误操作,提高安全性。

6.7.2 软模胀形典型结构 (橡胶弹性体胀形模)

1. 无凹模橡胶弹性体胀形模

无凹模橡胶弹性体胀形模只能得到近似的外观,变形系数比有凹模小8%~10%。外形尺寸取决于橡胶体最大直径处的位置和压力机上缸行程。

坯筒拉深后一般不进行退火或固溶处理(不锈钢材料)。退火不均匀或冷却速度不一致会导致坯筒周边应力失衡,造成工件偏歪或报废。

这种胀形方式的优点是模具成本低,加工周期短。最大的缺点是质量不稳定,只适用于外观质量要求不高、变形程度不大的产品。目前只有少数厂家仍在沿用。

无凹模奶锅胀形模如图6-26所示。

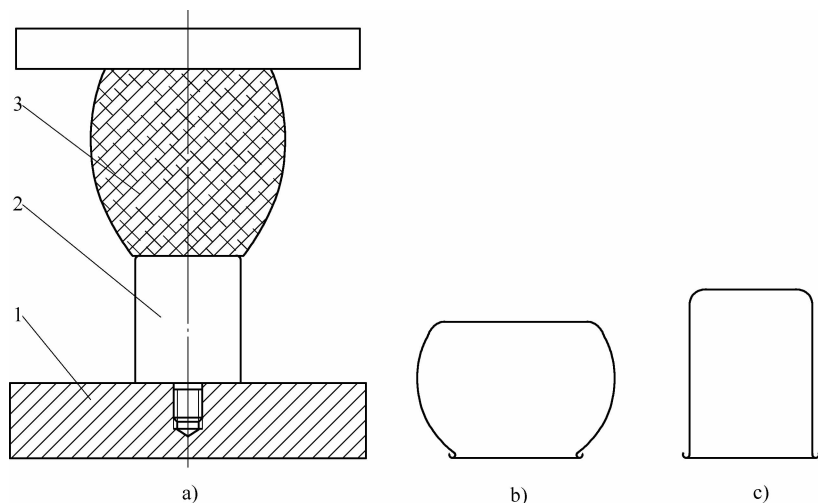


图 6-26 无凹模奶锅胀形模

a) 模具 b) 胀形后 c) 坯筒

1—下模座 2—凸模 3—橡胶弹性体

2. 工件颈部不参与变形的无凹模橡胶弹性体胀形模

该胀形模由芯柱、固定座、内锥面环形圈和分瓣式颈位锁圈组成。坯筒到位后,填入颈位锁圈。成形后取出锁圈后即可取下工件。锁圈一般为对开式,车加工后用线切割分离,径向留有 $\leq 1\text{mm}$ 的间隙。

环形圈和分瓣式颈位锁圈之间的锥面配合角度一般取 12° ,且在外锥面上刻交叉气槽(手提砂轮机打磨),以防颈位锁圈在压力的作用下与环形套圈粘死,不易取出。

无凹模炖煲胀形模如图6-27所示。

3. 鼓形件胀形模

侧素线上只有一个最高点的工件均可称为鼓形件。鼓形件胀形模的共同特点是分模

线开在工件直径最大处。图 6-28 所示的鼓形件胀形模可视为装在双油缸液压机上的有凹模胀形模通式。上模下行，与下模合拢形成一体。上模继续下行，压迫坯件内的橡胶弹性体，在凸模的作用下橡胶膨胀，令坯件向外扩张，直至将凹模型腔填满。上模回程，压力解除，橡胶弹性体回复原状，工件从上端出料。

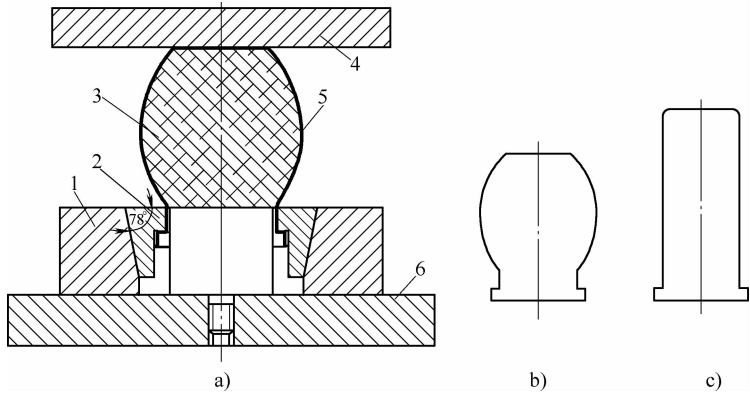


图 6-27 无凹模炖煲胀形模

a) 模具 b) 胀形后 c) 拉深坯件

1—内锥面环形圈 2—分瓣式颈位锁圈 3—橡胶弹性体 4—上模板
5—工件 6—下模座

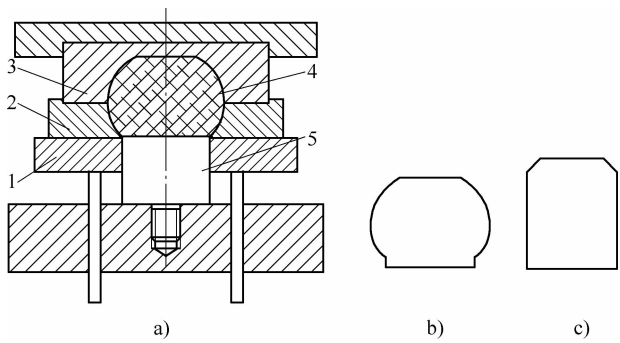


图 6-28 鼓形件胀形模

a) 模具 b) 胀形后 c) 拉深坯件

1—下模座 2—下凹模 3—上凹模 4—橡胶弹性体 5—凸模

4. 杯具胀形模

图 6-29 所示为虎头杯胀形模，在无把杯类产品胀形模中有较大的代表性。其坯筒为截管件，为了保证下端处于自由状态，胀形前上端用辗压方式予以缩口，便于倒挂在橡胶胀形体上。上模中镶配杯口整形凹模，橡胶弹性体上放置口部整形模芯 5。口部整形模芯 5 上部作为杯口整形凸模，下部为球面，有促进橡胶流动的作用。橡胶弹性体上大下小，有约 1°的锥角。胀形模套为圆柱形，型腔侧素线与设计的外观仿形加工。

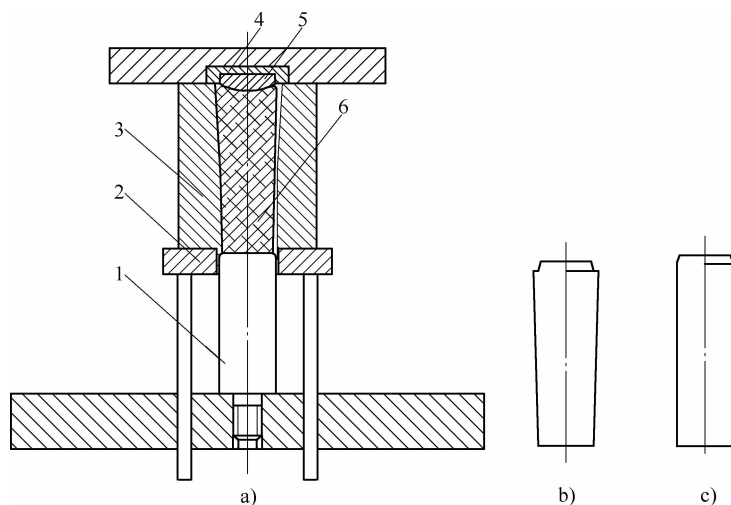


图 6-29 虎头杯胀形模

a) 模具 b) 胀形后 c) 经缩口后的截管坯件

1—凸模 2—下模座 3—整体式凹模 4—口部凹模 5—口部整形模芯 6—橡胶弹性体

5. 口杯盖、壶盖胀形模

这一款模具也可归入鼓形件胀形模一类。在橡胶弹性体中加装导流块，可以起到促进橡胶流动的作用。坯件拉深后已经达到要求的部位，在胀形过程中不希望参与变形，也可以用上模和导流块加以覆盖，如图 6-30 中的壶盖顶部。分模线取在工件直径最大处。

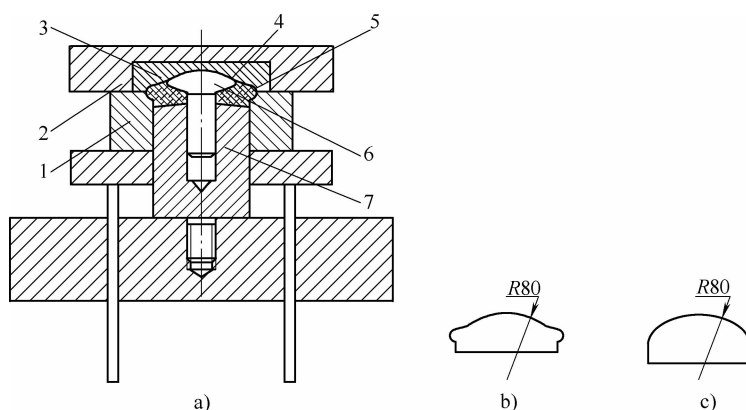


图 6-30 壶盖类工件胀形模

a) 模具 b) 胀形后 c) 拉深、车边后的坯件

1—下凹模 2—凹模 3—镶块 4—工件 5—橡胶弹性体 6—导流块 7—凸模

6. 古典壶胀形模

古典壶胀形模相当于半球体与锥台体的结合，侧素线只有一个高点，归属于鼓形件胀形一类。

从另一种角度来说，该模具属于闭环型模具。这款模具的上模嵌入下模的榫口内，方便对模，并可保证工件成形后的同轴度，如图 6-31 所示。

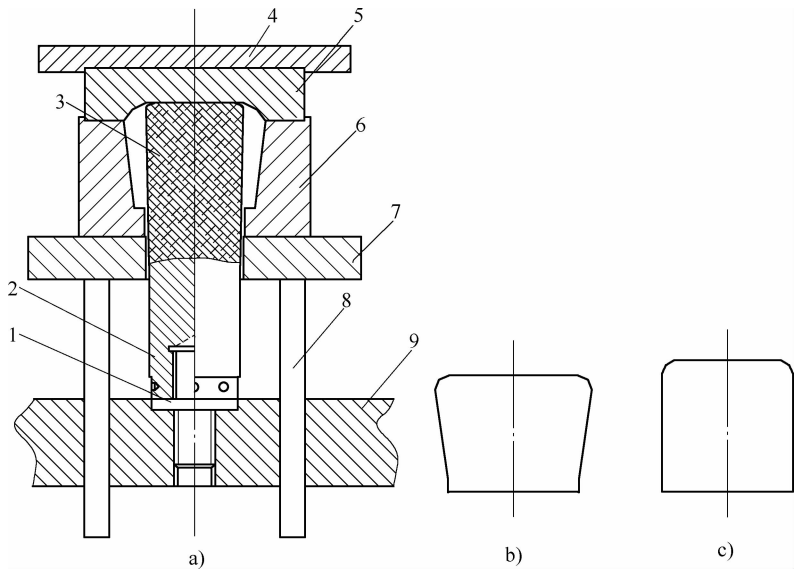


图 6-31 古典壶胀形模

a) 模具 b) 胀形后 c) 拉深坯件

1—凸模联接螺柱 2—凸模 3—橡胶弹性体 4—上模座 5—上凹模
6—下凹模 7—下模座 8—顶杆 9—压力机工作台

7. 咖啡壶外壳胀形模

如图 6-32 所示，这种下大上小的胀形方式在胀形模中属于一种特例。采用这种方式的目的，是为了让橡胶弹性体在较短的行程内就能充满型腔，为成形提供有利条件。该模具上模中装有壶体口部整形镶块，镶块下工作面成球形，兼有导流作用。受橡胶弹性体变形特点的限制，操作时将有一部分空气关在凹模上部的型腔内，因此应在镶块侧面开有排气孔，气孔直径不大于 3mm。成品各部位的最大变形量均不超过坯筒直径的 1.26 倍。

8. 带整形功能胀形模

图 6-33 所示为带整形功能胀形模。在橡胶弹性体上放置整形凸模，与上模座中嵌装的凹模芯形成偶合工作副，在胀形的同时完成对坯件小端的整形。

9. 单锥面分辨式自锁胀形模

凹模分作 3~4 等份装在燕尾槽的滑块上。上模下行时，锥套先行将凹模合拢拼圆，与下模合成一体后下行对坯筒胀形。合模锥角一般取 30°。锥套与滑块之间应留有一定

空间作为上模运行裕量。而凹模瓣块上平面与模芯的间隙需要精确到材料厚度的 $1/5$ 以下。滑块后退终止点应控制在锥套大端直径范围内。

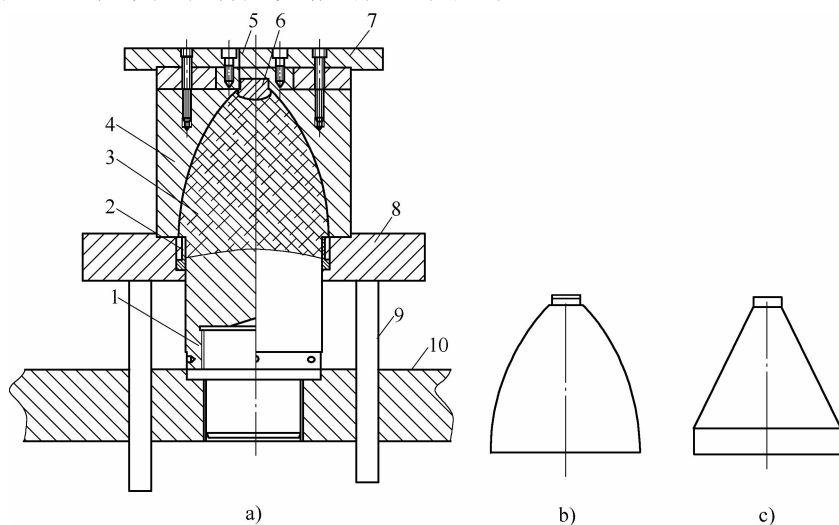


图 6-32 咖啡壶外壳胀形模

a) 模具 b) 胀形后 c) 坯件 (卷圆后扩口)

1—凸模 2—凸模导向圈 3—橡胶弹性体 4—凹模 5—排气孔 6—口部整形镶块
7—上模座 8—下模座 9—顶杆 10—压力机工作台

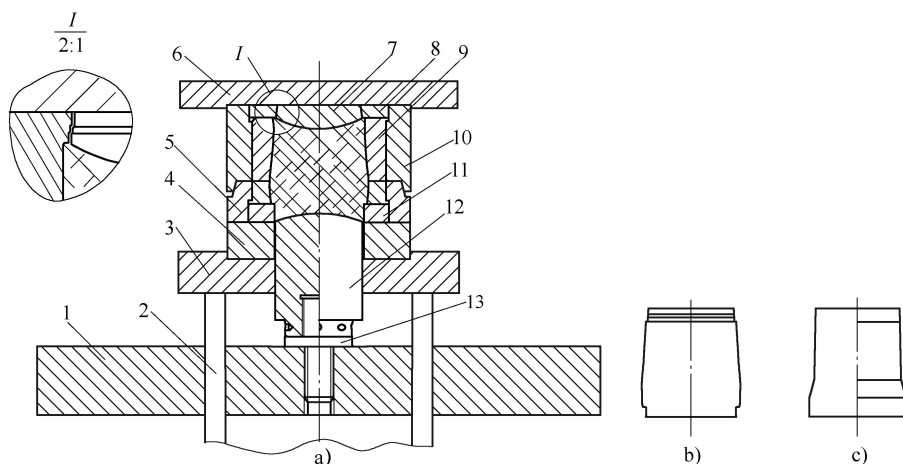


图 6-33 带整形功能胀形模 (卷板焊接坯筒)

a) 模具 b) 胀形后 c) 坯件

1—压力机工作台 2—顶杆 3—下模座 4—导向座 5—下模圈 6—上模座 7—整形凸模
8—小端成形凹模 9—上凹模 10—上模套 11—下凹模 12—凸模 13—凸模连接螺柱

该型模具相对而言较为笨重, 占用材料多, 但也有工作可靠的优点, 适合于所有哑铃形大中型工件, 如图 6-34 和图 6-35 所示。

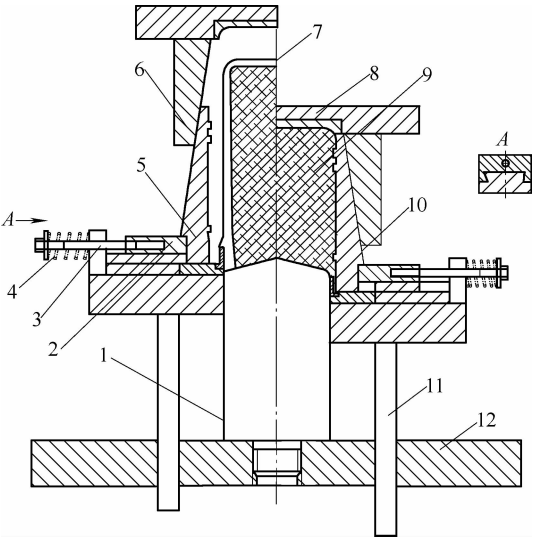


图 6-34 提锅外壳单锥面分瓣式自锁胀形模（拉深坯筒）

1—凸模 2—燕尾槽滑块 3—联接螺栓 4—弹簧与座 5—分瓣式凹模 6—合模圈
7—坯筒 8—上模座 9—橡胶弹性体 10—凸模导向圈 11—顶杆 12—压力机工作台

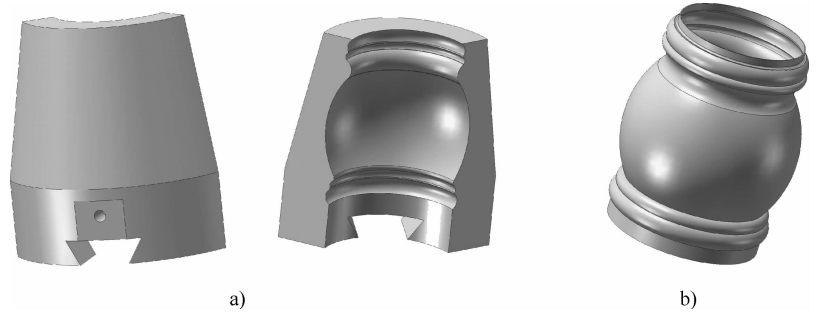


图 6-35 柱础胀形模单锥面自锁凹模分瓣（坯料为卷板焊筒）

a) 凹模分瓣 b) 成形后的柱础

10. 分段式单锥面分瓣胀形模

该款式模具的优点是将工件的直壁部分安排在上模，而将有槽的一端单独列出，安排在下模，分成三瓣，用单锥面与上模配合。模具小巧，耗用材料少，工作时轻松可靠，减轻了工人的劳动强度。

该款式模具对于单个或多个凹槽共处于产品一端工件的成形有代表性。如图 6-36 所示。

11. 双锥面分瓣式自锁胀形模（卷板焊接坯筒）

这种设计形式的模具占用材料少，成本低，工艺成熟，操作方便。双锥面分瓣式胀形模如图 6-37 所示。

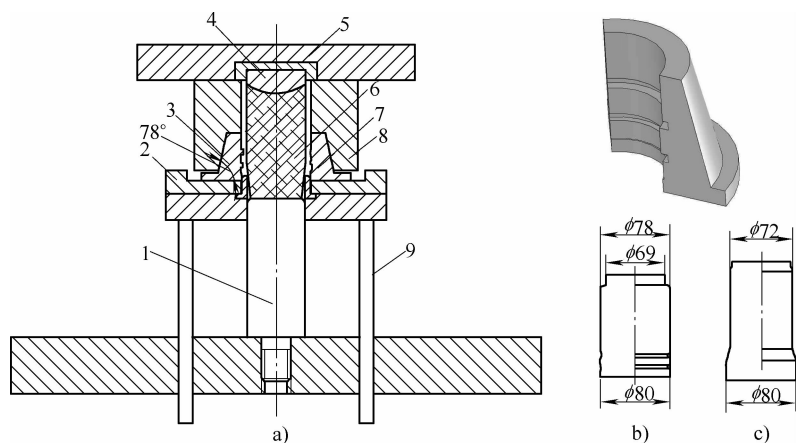


图 6-36 分段式胀形模 (有把座式杯壳)

a) 模具 b) 胀形后 c) 坯件 (管材下料、缩口、扩口)

1—凸模 2—下模座圈 3—分瓣凹模 4—口部凸模 5—口部凹模

6—橡胶弹性体 7—凸模导向圈 8—凹模 9—顶杆

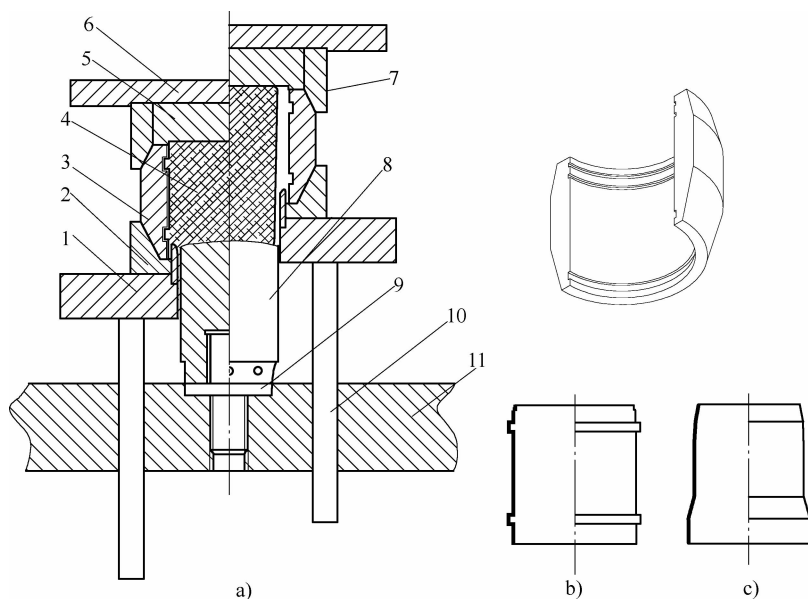


图 6-37 双锥面分瓣式胀形模 (保温提锅外壳)

a) 模具 b) 半成品 c) 坯筒

1—下模座 2—下合模套 3—凹模 4—橡胶弹性体 5—上模芯 6—上模座

7—上合模套 8—凸模 9—凸模连接螺柱 10—顶杆 11—压力机工作台

该模具适合于胀形量不大的装饰线与凸肋的胀形。因其胀形量不大，出料时模具的位移也不大，所以这种模具只需分作两半即可。直径为 160mm 的提锅胀形凹模最小质量仅为 4kg。

由于模具重心偏上，上模压力解除后，模具上端向两侧自动分开。装入坯筒后，上模下行，模具在合模锥套的作用下合拢。

12. 双锥面分瓣式自张自锁胀形模

图 6-38 所示为大肚壶（见图 6-39）双锥面分瓣式自张自锁胀形模，其工艺顺序是坯筒先卷边后胀形的。双锥面分瓣式自张自锁胀形模很好地解决了成形后不便出料的问题。壶体顶部的一小部分改由上模芯承担，凹模与上模芯顺滑过渡。

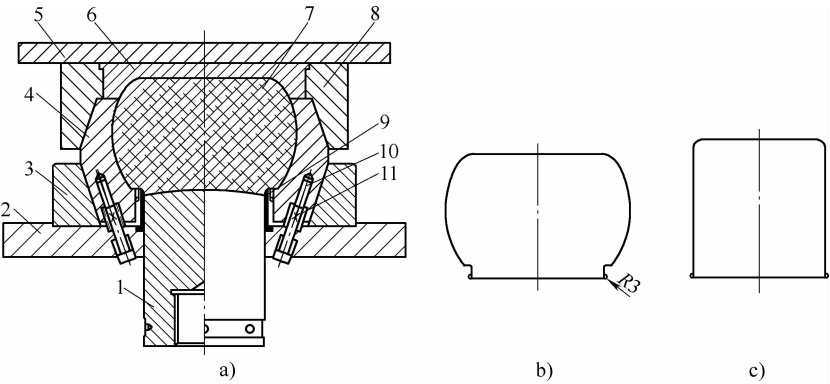


图 6-38 双锥面分瓣式自张自锁胀形模（坯筒先卷边后胀形）

a) 模具 b) 胀形后 c) 坯件

1—凸模 2—下模座 3—下合模圈 4—分瓣式凹模 5—上模座 6—凹模镶块
7—橡胶弹性体 8—上合模圈 9—凸模导向套 10—自举螺栓 11—自举弹簧

该模除了拥有分瓣式模具的优点外，当上模压力解除后，分瓣式凹模 4 在自举弹簧 10 的作用下自动张开。操作时，坯筒与工件均从上端进入和退出。

该款设计比先胀形后卷边工艺路线短，省时省力。

13. 双锥面分瓣式自张自锁胀形模加工工艺

在不锈钢壶类产品胀形中，当合模间隙大于材料厚度的 1/5 时即会有明显的印痕出现，破坏产品外观，因此有必要在凹模线切割分瓣后将其重新合拢进行精车，如图 6-40 所示。



图 6-39 大肚壶

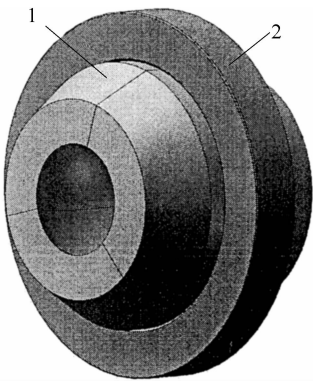


图 6-40 凹模分瓣精车

1—精车部位 2—工艺圈

模具的制作过程如下:

- 1) 上模: 上模座、上模芯、锥套分别备料粗车→钻孔攻螺纹→热处理→平磨。
- 2) 锥套与模芯热套配合: 半精车→与上模座组装→平磨→精车上模芯成形工作面、锥套锥面。
- 3) 凹模: 粗车→弹簧位钻孔、攻螺纹→热处理→平磨→线切割分瓣。
- 4) 工艺圈: 下料→车内孔→光刀一个端面作装配基准。
- 5) 与凹模分瓣热套: 精车凹模型腔面→精车锥面→带光工艺圈端面及外圆→反向车另一锥面→工艺圈切割。
- 6) 下座圈: 锻料→精车→平磨。
- 7) 凸模导向套: 旧轴承圈→精车。
- 8) 凸模: 下料→粗车→热处理→精车。
- 9) 组装: 试模。

14. 橡胶装于上模的模具结构

图 6-41 所示为烟灰缸成形模。由于工件形状的关系, 凹模 2 分成两半, 以便取出。凸模 1 用橡胶弹性体制成粗似的形状, 略小于毛坯内径。

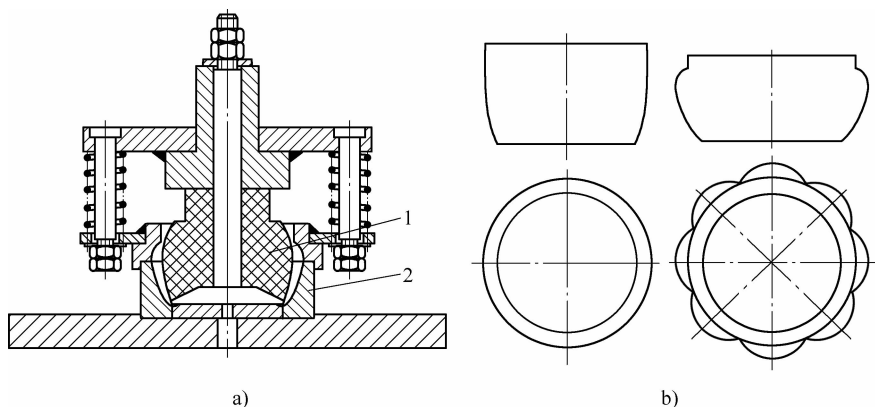


图 6-41 烟灰缸成形模

a) 成形模 b) 坯件与成品

1—凸模 2—凹模

15. 压制凸肋的橡胶胀形模

图 6-42 所示为带斜楔机构的胀形模具结构, 凹模 8 由左右两半组成, 可在斜楔 3 作用下合拢, 上模回程时由弹簧 10 复位, 取件方便。

16. 大型环形件橡胶胀形模具

包括曲线圆锥形和带波纹的大型环形件的橡胶胀形模具结构如图 6-43 所示。这类模具的特点是作为弹性凸模的橡胶块 6 不是实心整体, 而是制成一个环形筒体。因此, 不仅减少了橡胶材料的用量和承压面积, 提高其使用寿命。而且胀形过程中环形筒体橡胶与模芯 7 可以相对滑动, 使压力分布均匀, 能量损失较小, 零件成形精度较高。

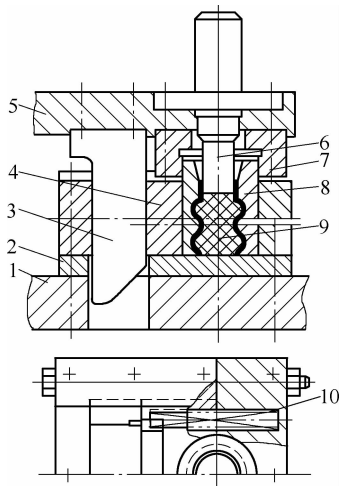


图 6-42 带斜楔机构的凸肋胀形模具
1—下模板 2—垫板 3—斜楔 4—滑块
5—上模板 6—压头 7—合模圈
8—凹模 9—橡胶弹性体 10—弹簧

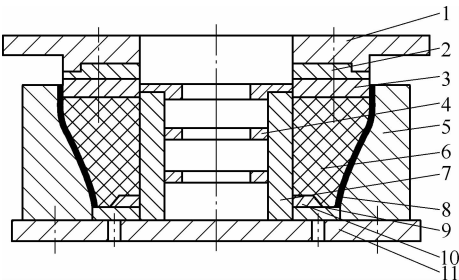


图 6-43 大型环形件的胀形模具结构
1—上模座 2—垫板 3—压头 4—加强环
5—凹模 6—橡胶弹性体 7—模芯 8—零件
9—顶料板 10—增力环 11—下模座

17. 塑挤胀形

三通、四通和六通等形状复杂多变的多通管接头，传统的生产方法多采用铸造、锻造、焊接、机械加工和冲焊工艺。采用这些工艺方法生产，不但生产效率低，质量不高，而且成本较高。采用管子成形工艺，不仅保证了较高的生产率、较轻的质量、较低的成本，而且可有效地提高产品的内在与表面质量。

塑挤胀形，即利用带轴向压缩的聚氨酯胀形或液压胀形，在一次成形工序中，能够得到成形支管的长径比约等于1，而其变薄量不超过15%。

图 6-44 所示为利用橡胶弹性体带轴向压缩成形三通管的受力情况。其成形过程为：将管坯置于可分式刚性凹模中，并将直径略小于管坯内径（一般小 0.5 ~ 1.0mm）的橡胶弹性体置于管坯内，在刚性凸模的作用下，先使橡胶弹性体棒压缩变形而使管坯处于塑性状态，进而压缩管坯端部直至成形结束。假若支管自由面在橡胶弹性体压力的作用下不开裂，则成形过程中一直进行下去。但与此同时，内压又必须足以克服管坯壁起皱。

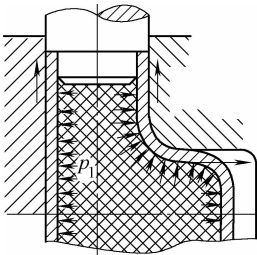


图 6-44 支管塑挤胀形示意图

18. 自行车六通挤压胀形模

自行车六通是带支管零件的典型代表，是自行车的主要受力构件。制造该零件的老工艺方法是钢板经多道冲压成形后再用弯曲、焊接等工艺等完成。老工艺工序多、成本高、生产率低，而且零件的质量也得不到保证。

近年来，国内、外普遍采用液压、橡胶或橡胶弹性体为介质，将卷焊而成的钢管直

接塑挤成形。塑挤胀形的具体工艺路线和公称尺寸如图 6-45 所示。其主要工序：管坯的准备→磷化、皂化→塑挤胀形→冲或钻四个支管孔→退火→用钢球或圆柱销翻孔→两端镗孔、车端面→两头挤压螺纹。

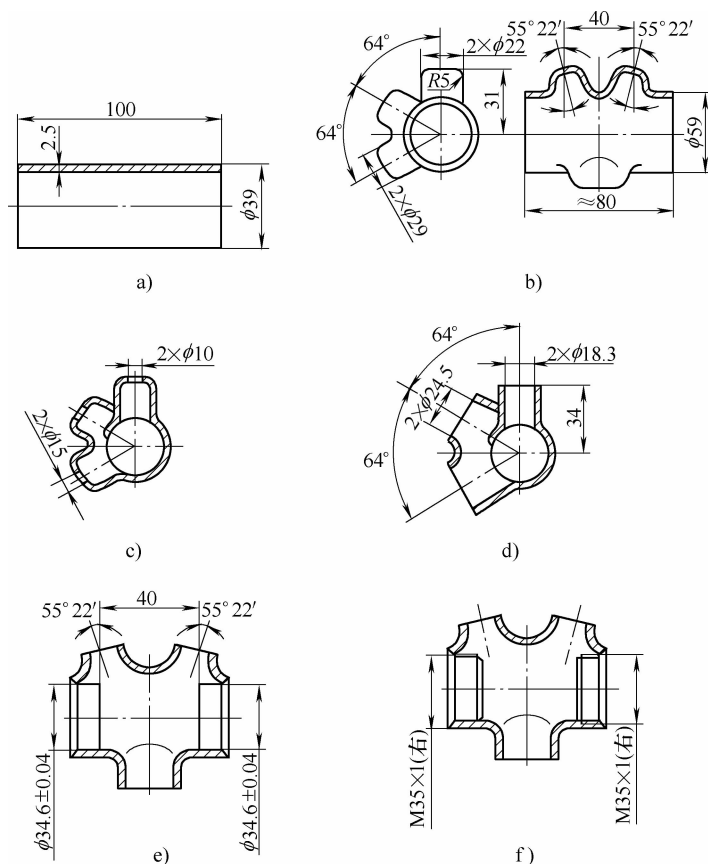


图 6-45 自行车六通橡胶弹性体胀形工艺路线

a) 切断 b) 胀形 c) 冲孔 d) 孔翻边 e) 镗孔、车端面 f) 两端滚压螺纹

自行车六通管由于成形部位不对称，变形量又大，必须采用带轴向压缩的胀形即塑挤胀形。而且，为了解决单向挤压时受摩擦的影响而沿轴向压力分布不均匀的问题，应采用上、下对向挤压胀形工艺，相应的模具结构如图 6-46 所示。该模具结构实际可以作为多通管对向塑挤胀形模的通用结构，安装在压力机上使用。凹模 3 由三瓣组成，每瓣的下端同凹模座 7 通过燕尾或 T 形槽相连。工作前将三瓣凹模合拢形成凹模型腔，将带有橡胶弹性体芯棒的管坯置于凹模型腔，当压力机滑块向下行程时，首先锥形套将三瓣凹模压合为一整体。随着滑块继续下行，上、下冲头同时对管坯进行挤压，实现塑挤胀形。

橡胶弹性体棒尺寸为 $\phi 32\text{mm} \times 100\text{mm}$ ，邵氏硬度 75H_A 。

为了减少塑挤胀形时管坯金属流动的阻力和提高模具的寿命，管坯在挤压前必须经过磷化和皂化处理。

提高支管挤压胀形长径比的措施，以三通管为例，当采用自然胀形时，所得支管的长径比 L/d 一般为 $0.6 \sim 0.7$ ；当采用带轴向压缩的胀形即挤压胀形时，所得支管 $L/d = 0.7 \sim 1.0$ 。为了使支管的成形能够达到更高的程度，应该采用下列措施：

- 1) 必须对管坯外表面进行很好的润滑，使在内部压力 p_1 的作用下，仍保持良好的润滑性能。
- 2) 对管坯内壁则应提高摩擦作用，以减少支管端部的变薄。
- 3) 为了减少摩擦的不利影响，应尽量使橡胶弹性体的作用集中在成形部分，如图 6-47 所示。
- 4) 尽量增大支管与主管连接处的圆角半径，以减少弯曲抗力。

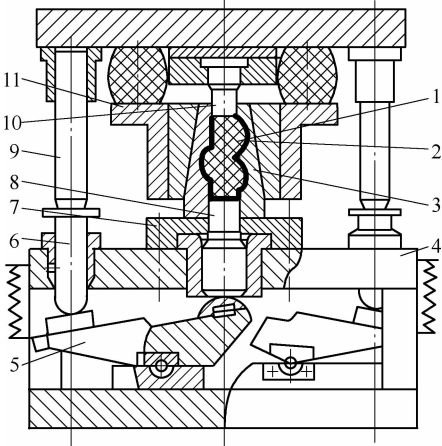


图 6-46 自行车六通管塑挤胀形模具
1—橡胶弹性体芯棒 2—工件 3—组合凹模
4—下模座 5—摆杆 6—推杆 7—凹模座
8—下冲头 9—压杆 10—上冲头
11—锥形套

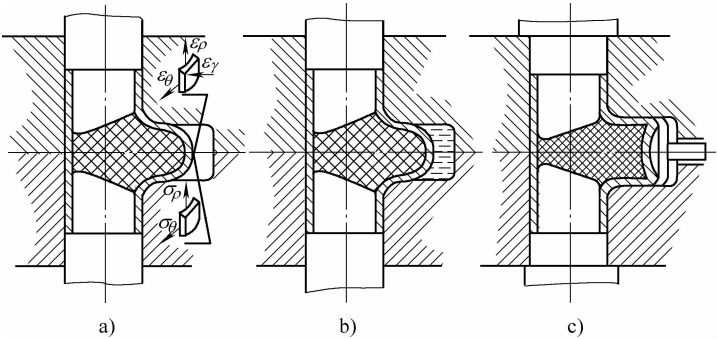


图 6-47 橡胶弹性体对支管成形区的集中作用

a) 对支管成形区的集中作用 b) 带液体反压的支管成形 c) 带刚性反压板的支管成形

5) 为了改善支管端部的应力和应变状态，以提高变形程度和减少变薄量，可以在支管端部处侧施加反作用力，如图 6-47b 所示。

6) 为了减少危险断面处支管顶端的破裂，根据经验，还可采用刚性反压装置，这与反拉延一样，提高了顶端的强化效果，如图 6-47c 所示。

7) 尽可能采用塑性好、抗力小和硬化少的材料。

应当说，无论以何种介质进行胀形，这些措施均是有效的，仅其中第 2 和第 3 条措施是针对采用橡胶弹性体作为胀形介质的。当支管长径比 $L/d \geq 3$ （这在冰箱、空调管

接头及国外宾馆、旅社与家用新型纯铜热水管接头常用), 第5条措施就凸显为关键技术措施。

在支管端部施加反向作用力, 如图6-47b、c所示, 该反向作用力也称为反向平衡力。施加反向平衡力后的挤压胀形, 其工件侧壁受管坯内部的胀形压力、管坯端部(两头)挤压力和支管端部作用力三个力的共同作用。虽然, 对于支管区域的应力分布规律基本不产生影响(由有限元模拟所得应力云图表明), 但对应状态有明显改善, 使支管长度的中部呈现出两向强烈的压缩和一向轻微的拉伸应力状态, 这种应力状态非常有利于支管产生稳定的挤压胀形。此外, 随着以上三个力的增加, 管件变形区内的静水压力也随之增大, 这非常有助于提高管料的胀形极限。

在支管端部施加反向平衡力, 就是为了使多通管的成形过程处于超高压静水压状态下进行。

6.7.3 液压胀形典型结构

1. 波纹管零件液压胀形

波纹管液压胀形的方法, 如图6-48所示。胀形前, 将筒形件安装在弹性夹头2上, 并采取密封措施保证在胀形时不会溢水, 梳形管4应均匀排列。当液压力 p 作用于筒形件的内壁, 使其变形部分贴紧于梳形管中。梳形管为对开半圆环, 其间距应经试验后近似确定。并且波纹素线展开长度应等于工件的素线长度。在压力不变的条件下, 动模板6向右移动且推进梳形管, 使梳形管的素线长度等于波纹管截面给定的间距 L_1 时行程结束, 然后卸除液压力, 并松开弹性夹头的同时, 动模板恢复到原来位置, 工件从型胎3上取出。

2. 正装液压胀形模

正装鼓形件液压胀形模是将凹模下置。坯筒放入下模后凸模下行同时向坯筒内注液, 空气由凸模内的集气室经排气管导出。凸模继续下行, 液体压力升高, 令坯筒改变形状, 贴向凹模。正装液压胀形模的凸模上设计有两道密封圈。第一道是主密封圈, 采用YX形。这种型号的密封圈带有很薄的飞边, 油压升高后能自动贴紧运动件, 密封性能良好。第二道是副密封圈, 起保险作用, 采用O形密封圈即可。环主密封圈槽底径开有3~4个小孔, 将残余空气导入集气室排走。

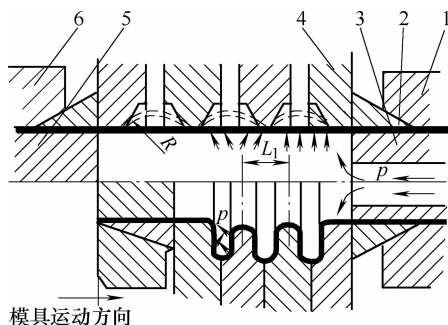


图6-48 波纹管液压胀形

1—定模板 2—弹性夹头 3—内塞头
4—梳形管 5—芯棒 6—动模板

需要说明的是, 在图6-49中4所表示的排气孔是为了图样表达的需要, 而在实际模具工作面上, 所有的缝隙深度均不能超过材料厚度的 $1/5$, 否则成形后就会有明显的印痕出现。

正装液压胀形模要求采用双动上缸液压机配套, 上工作台下行时, 第一级液压缸先

将上凹模压死，然后第二级液压缸动作开始胀形。

3. 倒装液压胀形模

倒装液压胀形模是较为常用的一种结构形式，如图 6-50 所示。其优点是可以利用下液压缸出力将上、下凹模合紧。而安装上、下液压缸是国产液压机的标准配置。

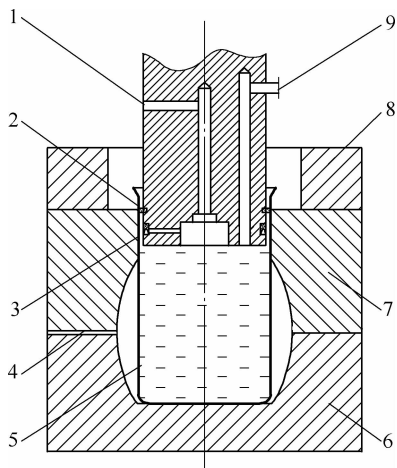


图 6-49 正装液压胀形模

- 1—排气管 2—O 形密封圈 3—YX 形密封圈
4—排气孔（槽） 5—坯筒 6—下凹模 7—上凹模 8—压模圈 9—注液管

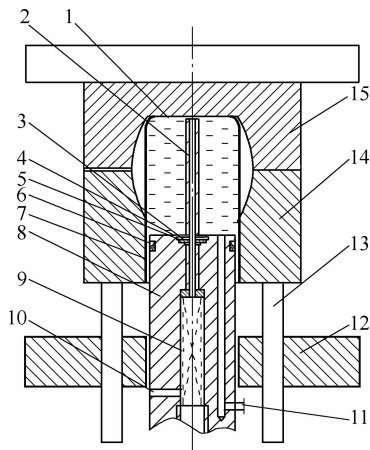


图 6-50 倒装液压胀形模

- 1—坯筒 2—排气管 3、7—O 形密封圈 4—压环
5—卡簧 6—YX 形密封圈 8—柱塞 9—弹簧
10—排气孔 11—注液孔 12—下工作台
13—顶杆 14—下凹模 15—上凹模

坯筒 1 倒扣在柱塞 8 上，上模下行，上凹模 14 与下凹模 15 合紧，此时开始向坯筒内注入液体，坯筒内的空气从上部进入排气管 2 被导出。排气阀门（图 6-50 中未画出）关闭，上模下行，高压液体对坯筒进行胀形。柱塞 8 与坯筒 1 之间的密封是靠密封圈 6、7 来保证的，密封圈的设置与正装胀形模完全一致，这时不再重复。排气管设计为活动式，能随着坯筒缩短下行。弹簧 9 对排气管起抬升作用，保证排气管空载时处于最高位置。排气管与柱塞的密封依靠密封圈 3 实行，压环 4 和卡簧 5 将 O 形密封圈 3 固定在柱塞端面上。

胀形完成后，上工作台回程，来自下液压缸的压力通过顶杆 13 将下凹模抬升到预定位置，此时可向容腔少量注液，将工件顶出，工件取下后的多余液体可经由柱塞与下凹模间的缝隙流走。

4. 凸缘密封正装液压胀形模

胀形液的密封靠压料圈压紧坯筒凸缘来实现。压料圈下端面车制有圆锥凸台，圆锥角选择在 $120^{\circ} \sim 150^{\circ}$ 。由于上下凹模合紧力全部由压料凸台来传递，凸台锥面应有一定的宽度来承受压力。

正装液压胀形模如图 6-51 所示。

压料凸台上车削有密封环带。环带宽度满足 $3 \leq B \leq 6\text{mm}$ 。太宽密封效果不好，太

窄容易损坏,寿命不长。环带密封件高度满足 $1/4t \leq T \leq 1/3t$ 。

柱塞密封改在压料圈上,设置形式与正装液压胀形模相同。

柱塞的设计、进液、排气方式与正装液压胀形模相同。这种模具结构不能形成轴向缩短来向变形区补充材料,所以最大胀形系数不大于材料伸长率的70%。

5. 液压-橡胶膜胀形模

液压-橡胶膜的胀形形式,在生产中橡胶膜被改为充液胶囊,结构简单,现场可以完全见不到工作液体。正装橡胶膜液压胀形模如图6-52所示。

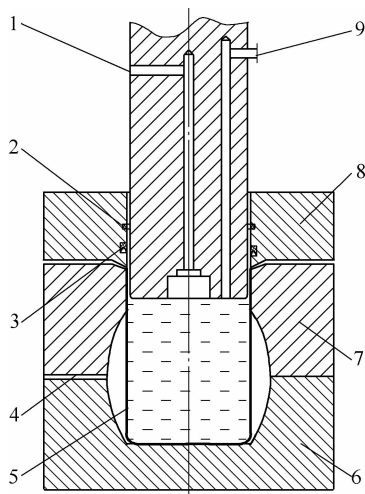


图 6-51 正装液压胀形模

- 1—排气管 2—O形密封圈 3—YX形密封圈
4—排气孔 5—坯筒 6—下凹模 7—上凹模
8—压模圈 9—注液管

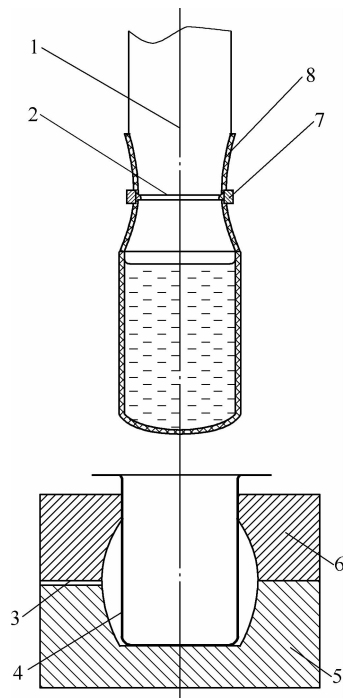


图 6-52 正装橡胶膜液压胀形模

- 1—柱塞 2—密封圈 3—排气孔 4—坯筒
5—下凹模 6—上凹模 7—扎箍 8—橡胶囊

充液胶囊头部呈弧形,厚度比尾部薄。进入坯筒后从头部起依次胀大,将空气排出。充液胶囊的扎紧部分内圆铸有密封环与柱塞配合,组装时用普通水管扎箍收紧。

6. 橡胶柱塞液压胀形模

橡胶柱塞模是一种结构简单,制造和操作都可以相对粗放的液压胀形模。橡胶柱塞液压胀形模如图6-53所示,坯筒6与凹模间的密封圈4设置在上凹模8的内径上。

工作时,上模下行,柱塞套1先行将上凹模8压住,然后柱塞2下行,橡胶9受力膨胀,密封了上凹模与橡胶的间隙。柱塞2继续下行,由于橡胶与液体的体积都具有不可压缩性,坯筒6开始发生形变。

坯筒顶部处于自由状态,上模下行时橡胶与坯筒壁的摩擦力形成轴向压缩胀形的态

势，对成形十分有利。这种结构形式可以得到大于材料伸长率的胀形效果。

橡胶柱塞液压胀形模的特点是，由于坯筒内残余空气排除不方便，需要配备的低压大流量充液泵，并且操作前坯筒置于液面以下。正是基于这一特点，在操作过程中减少了排气、充液、关闭排气阀等一系列动作，减少了误操作的可能性，反而提高了生产效率。

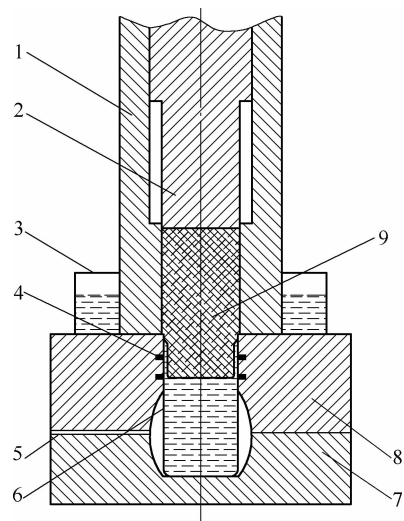


图 6-53 橡胶柱塞液压胀形模

- 1—柱塞套 2—柱塞 3—液体容框 4—密封圈 5—排气孔
6—坯筒 7—下凹模 8—上凹模 9—橡胶

第 7 章 缩口与扩口

7.1 缩口

缩口是将管形件或拉深后的筒形件开口端直径缩小的一种冲压方法，如图 7-1 和图 7-2 所示。

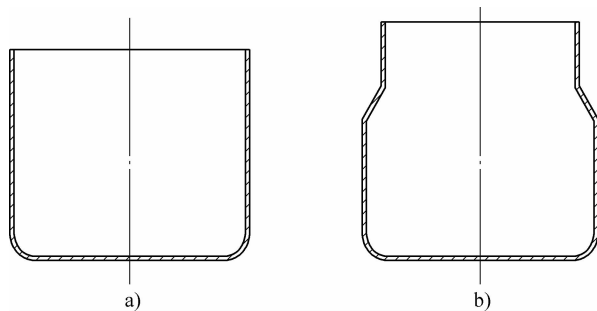


图 7-1 拉深件的缩口
a) 坯件 b) 缩口后

在缩口作业中，管件直径缩小所产生的多余材料，主要是通过材料本身的蠕合能力在变形区内消纳。当缩口段长度较大时，变形区的长度会有少量增长。

变形过程中产生的反作用力导致支承部分的失稳起皱，是缩口工序要解决的主要问题。由于使材料在蠕变中发生晶格重排的力大于材料本身的抗弯强度 4 倍，因此缩口前后的直径差不宜太大。

常见的缩口方式有整体凹模缩口、旋锻缩口、滚轮旋压缩口及行星轮旋压缩口等。

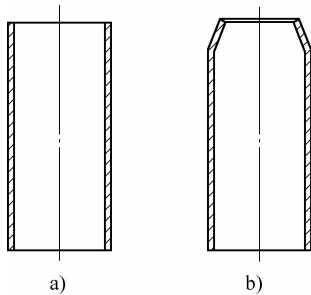


图 7-2 截管件的缩口
a) 坯筒 b) 缩口后

7.1.1 缩口变形程度

缩口变形程度用缩口率表示，它与缩口系数互为余数。

(1) 缩口系数 缩口系数 K 表示缩口变形程度，工件的缩口系数 K 反映了切向变形大小。

$$K = d/D_0$$

式中 K ——缩口系数；
 d ——工件缩口后口部直径（mm）；

D_0 ——工件缩口前口部直径（mm）。

（2）成形极限 一次缩口所能达到的最小缩口系数称为极限缩口系数 $K_{\min}$ 。极限缩口系数与材料的相对厚度（ t/d_0 ）、绝对厚度、表面氧化物致密程度和抗拉强度有关，也与模具的表面硬度、结构形式、摩擦因数等有关。其中，摩擦因数又与模具材料与缩口材料的亲和力有关。材料塑性越好，厚度越大，或者模具结构中对管壁的支持作用越好，缩口系数 K 值越小。

缩口坯料的绝对厚度和表面氧化层致密程度对缩口率的影响，目前尚无专深的研究，但实践表明，上述两项指标，对于材料的自蠕合能力有至关重要的联系；不锈钢表面氧化层 Cr_2O_3 有致密的分子结构和较高的抗拉强度，所以不锈钢材料与普通钢材料的缩口系数有区别，成形极限数据不能代用。

为提高极限缩口变形程度，料厚 2mm 以上的可以采用变形区局部加热的方法，料厚 2mm 以下的不建议采用此法。这是因为加热后产生的氧化皮加大了模具与材料间的摩擦力，令工作条件恶化，全部或大部分抵消了材料加热后的变形优势。

局部加热时宜采用感应加热或隔焰加热，避开火焰直接加热。

关于不锈钢缩口系数，实践证明，在不锈钢餐厨具生产中，当 $t/D > 0.05$ 时，用缩口系数来判别缩口的工作道次较为方便。当 $t/D < 0.05$ 时，每道次的缩口量用料厚的倍数来计算比较可靠。不锈钢坯件单次缩口量（直径）与 t/D 的关系见表 7-1。

表 7-1 不锈钢坯件单次缩口量（直径）与 t/D 的关系

材料牌号	t/D				
	0.05	0.02	0.01	0.005	≤ 0.005
06Cr18Ni11Ti	缩口量(直径)				
	$12t$	$10t$	$8t$	$7t$	$6t$

一般情况下，不锈钢材料经过二道缩口后，冷作硬化已十分严重。需入炉作再结晶退火。退火需在真空炉中进行，否则暴露在空气中加热生成的氧化膜，对于材料的自蠕合能力有很大的妨害。

（3）缩口道次 由较大直径一次缩口成较小直径，材料受压缩变形太大有可能出现起皱。此时需要多次缩口。缩口道次 n 可由零件总缩口系数 K_0 与平均缩口系数 K_a 估算式为

$$n = \frac{\lg K_0}{\lg K_a}$$

表 7-2 给出的不同材料、不同模具形式的平均缩口系数的理论计算值。

表 7-2 平均缩口系数的理论计算值

材料名称	模 具 形 式		
	无支承	外部支承	内外支承
软钢	0.75	0.60	0.35

(续)

材料名称	模 具 形 式		
	无支承	外部支承	内外支承
黄铜 H62、黄铜 H68	0.70	0.55	0.32
铝	0.72	0.57	0.32
硬铝 (退火)	0.80	0.63	0.40
硬铝 (淬火)	0.80	0.72	0.43

7.1.2 缩口后在长度与厚度方向上的变形

缩口变形主要是切向压缩变形，但在长度与厚度方向上也有少量变形。
长度方向上，当凹模斜角小于 15°时，会发生少量伸长变形；当凹模斜角较大时，会发生少量压缩变形。
缩口时制件的颈口略有增厚，缩口后坯料厚度精确计算式为

$$t = t_0 \sqrt{\frac{D_0}{d}}$$

式中 t_0 ——缩口前坯料厚度 (mm)；
 t ——缩口后坯料厚度 (mm)；
 D_0 ——缩口前坯料直径 (mm)；
 d ——缩口后坯料直径 (mm)。

管材经缩口后口部直径会出现 0.5% ~ 0.8% 的回弹。缩口毛坯尺寸可根据变形前后体积不变的原则计算。

7.1.3 缩口力

忽略凹模入口处的弯曲应力，缩口力计算式为

$$F = K \left[1.1 \pi d_0 t_0 R_{eL} \left(1 - \frac{d}{d_0} \right) \times (1 + \mu \cot \alpha) / \cos \alpha \right]$$

式中 F ——缩口力 (N)；
 t_0 ——工件原始壁厚 (mm)；
 d_0 ——按中性层计算的工件原始直径 (mm)；
 d ——缩口后直径 (mm)；
 μ ——摩擦因数；
 α ——凹模斜锥角 (°)；
 R_{eL} ——材料屈服强度 (MPa)；
 K ——速度系数，对曲柄压力机，可以取 $K = 1.15$ 。

7.1.4 缩口模设计

缩口模通常采用整体凹模，其共同特点如下：

1) 工作部分采用硬质合金、合金工具钢或铬系模具钢材料, 要求硬度高、工作表面粗糙度值低; 热处理硬度在 62HRC 以上; 外径采用热套低碳钢保护, 以取得必需的预紧力。

材料选用顺序依次为: 硬质合金 YG6→钢结硬质合金 W50→高速工具钢 W18Cr4V→模具钢 Cr12MoV 或 Cr12。

2) 由于缩口加工后材料回弹的原因, 模具尺寸工件要求比预求尺寸缩小 0.5% ~ 0.8%。故而在设计凹模时, 可将定型位工作环带的公称尺寸乘以 (0.992 ~ 0.995) 作为凹模实际标注尺寸, 作为回弹补偿。

3) 凹模的运动方式。凹模的运动方式基本上可分为正装式 (见图 7-4a) 和倒装式。倒装式因为无须考虑工件的扶持, 所以比正装式适应面宽。在倒装式模具中, 凹模通过止口与外支承结合, 并且一同运动的缩口效果, 要比单纯的凹模运动好得多 (见图 7-3b)。

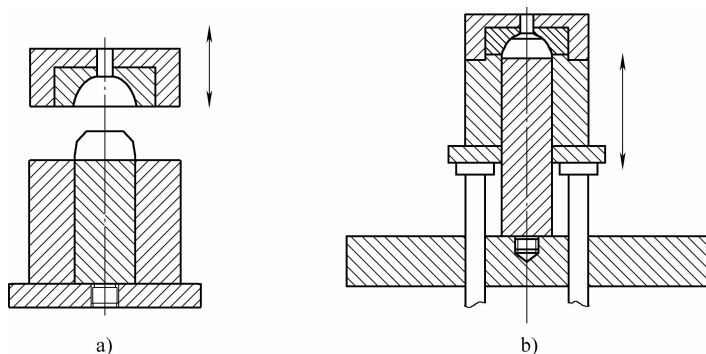


图 7-3 缩口凹模的运动方式

a) 凹模单独运动 b) 凹模与外支承组合后同时运动

7.1.5 缩口模典型结构

1. 无支承缩口模

无支承模具结构简单, 但所能承受的变形力很有限, 只适合管壁较厚、变形程度不大的截管件或拉深件, 如图 7-4a 所示。

2. 有支承缩口模

有支承的模具形式增加了坯料的稳定性, 可以提高变形程度。而且, 如果缩口内设有芯棒, 还可以提高缩口内径尺寸精度。内外支承的模具形式比内支承得到的变形程度大 3% ~ 5%, 如图 7-4b、c 所示。

3. 锥形凹模缩口模

锥形凹模的大端直径设计成大于坯筒直径, 以方便入料。凹模斜角通常取为 $10^\circ \sim 20^\circ$, 一般不大于 30° 。

锥形缩口模以内、外支承形式为常见, 如图 7-5 所示, 而在设计内支承时, 应避免开

内支承与凹模的锥度配合的形式。这是因为，如果材料在缩口过程中已经起皱，凸模与凹模的锥面是不能将其压平的，所以这种设计对于防止起皱并无实际意义，而且潜藏着撑破凹模的风险，如图 7-6 所示。

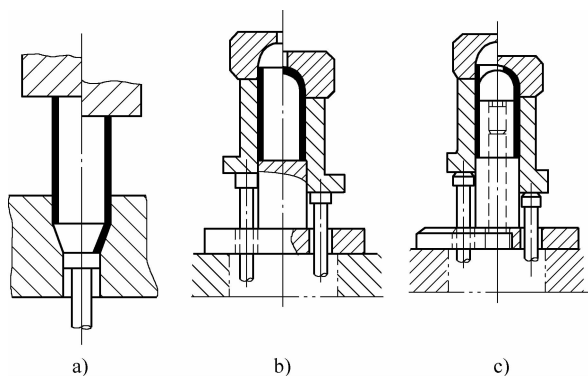


图 7-4 缩口模具形式

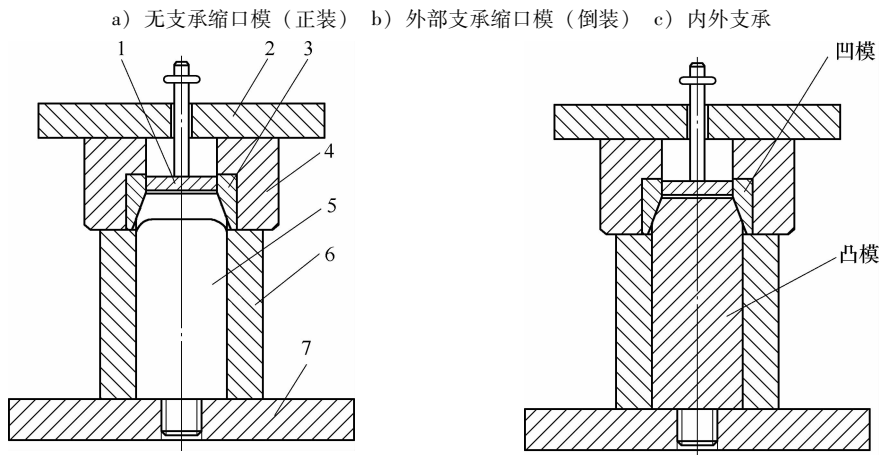


图 7-5 锥形凹模缩口模

图 7-6 锥形凹模缩口的错误设计

1—打料杆 2—上模座 3—合金钢凹模

4—保护套 5—内支承 6—外支承 7—下模座

4. 球面凹模缩口模

图 7-7 所示为球形工作面凹模。球面凹模只需将模口直径设计成比坯料直径略大，而无须考虑入料角问题。

球面凹模的剖面形状并不局限于球形，也可以将半圆弧拉长成为椭圆形或倒滴水形，以延长变形路径，如图 7-8 所示。

5. 圆角凹模

用凹模圆角的一部分弧面作为缩口模的工作段的凹模，称为圆角凹模。在设计圆角

凹模时，除了工作段要保持较低的表面粗糙度值外，入料点与圆角中心点之间的连线与水平线间的夹角 λ 应大于 50° ，否则凹模下行的水平分力过大，将导致坯筒过早失稳起皱，如图 7-9 所示。

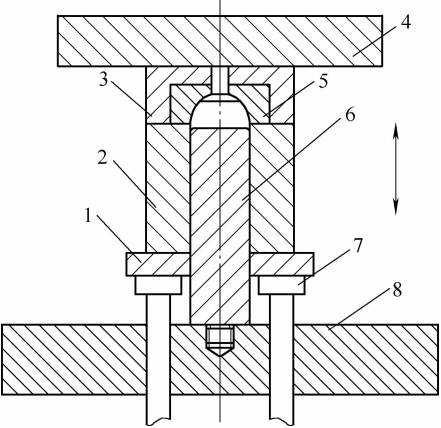


图 7-7 内外支承球面凹模缩口模
1—外支承座 2—外支承 3—凹模保护套
4—上模座 5—合金钢凹模 6—内支承
7—顶杆 8—下模

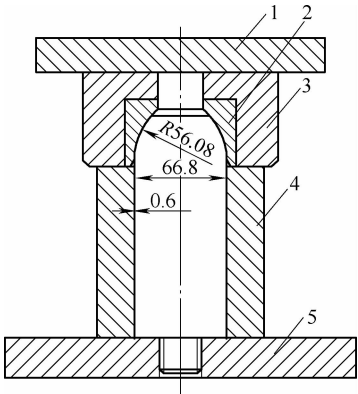


图 7-8 椭圆工作面凹模缩口模
1—上模座 2—凹模 3—预应力
保护套 4—外支承 5—下模座

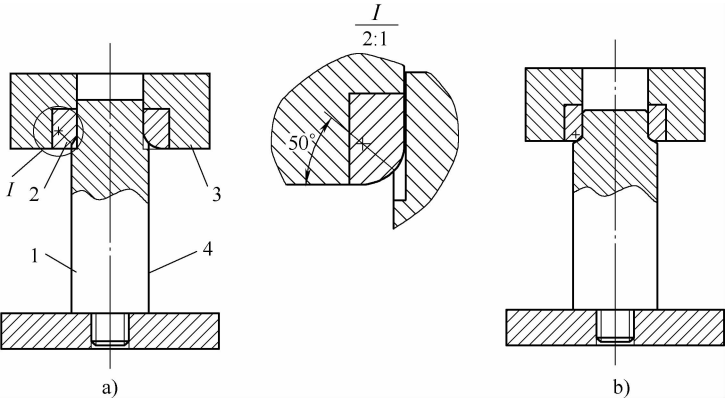


图 7-9 圆角缩口模
a) 首道缩口模 b) 后道缩口模
1—内支承 2—凹模 3—保护套 4—工件

6. 多道次缩口模

一次不能达到缩口尺寸的，可以安排多道次缩口。在描述多道次缩口模之前，有两个问题需要先行搞清楚。

(1) 缩口与扩口作业中数据的镜像 在不锈钢截管件硬模单次缩口作业中，采用内支承，缩口率为 20%；采用外支承，缩口率为 25%；同时采用内、外支承，缩口率

可达 27%；当缩口程度达到 27% 时，缩口作业就很难再进行下去。这是因为，变形区内材料在外径减小的同时，厚度在原来的基础上增加约 17%，由口沿向变形区尾端逐渐减少。

这种情况下，由上模传来的压力已不能令坯筒继续变小，因为壁厚的不同，此时的坯筒直壁部分的屈服强度已明显低于已变形区域，直壁产生失稳起皱现象。

这种现象的起始点在变形区与直壁结合位置，起皱程度由上向下逐步递减。采用内支承时，起始点向外扩张；采用外支承时起始点向内扩张；同时采用内、外支承，则在结合环线位置发生畸变。而在不锈钢管件的扩口作业中，当扩口后的直径大于坯筒直径 27% 时，材料产生裂纹或发生反转。

扩口与缩口互为逆向作业，这两种作业状态中出现的同一数据的现象，看来并不是一种巧合，而是一种在某种条件的制约下的镜像。

(2) 不同形式模具二次缩口时的受力分析 从图 7-10 可以看出，在锥形模中，二次缩口的作用力仍会沿着首次作业后的斜面产生较大的垂直分力，作用于坯筒直壁。

而用圆角代替圆锥角作为缩口模的工作段有明显的优势。其优点是，圆角的尾端与内支承台肩平行，为下一次缩口提供了方便。

在下次缩口中，其轴向压力中的大部分已经改由内支承台肩承担，减轻了未变形区的负担，减少了材料发生畸变的概率。

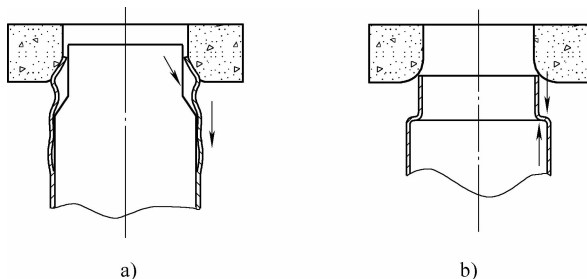


图 7-10 不同模具形式缩口受力分析

a) 锥形凹模 b) 圆角凹模

通过对以上两点的探讨，可以得出如下几点结论：①正常情况下，极限缩口系数不会大于材料伸长率的 70%；②多道次缩口模的首道缩口宜采用圆角凹模，以期得到一段台肩，来承担后续加工的垂直压力；③首道缩口以后的缩口道次，可以是圆角凹模，也可以是其他形式的凹模，因为此时缩口变形区已企稳，承压段已经缩短，已能承受较大的压力。

解决变形区域内材料增厚的方法如下：

1) 先缩口，后缩径。凹模做成通孔，先在小尺寸范围内将管件口部缩小到小于通孔尺寸，内支承平面保持锋利，利用刃口将变形区的材料顶出，将材料拉薄，如图 7-11 所示。

2) 在两道工序中插入压平，将上道缩口部分 $R_{\text{凹}}$ 压平成台肩，重新缩口的压力由台肩平面承担。

3) 将缩口锥体部分整成直壁，然后采用辗压缩口的方式将增厚的部位辗薄。如果不能达到要求的尺寸，可再行缩口（中间加退火工序），如图 7-12 所示。

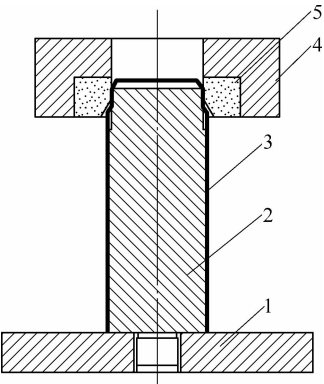


图 7-11 先缩口后缩径
1—模座 2—内支承 3—预缩口后的管件
4—凹模 5—硬质合金镶块

7. 分瓣式内支承全张紧缩口模

当缩口力下传至直壁并超过了材料的抗弯强度时，材料就会失稳，并向凸、凹模间隙挠曲。分瓣式内支承全张紧缩口模可以完全消除内外支承与坯筒的间隙，并且入料出料方便，如图 7-13 所示。

其工作过程如下：

凹模 5 下行时，压圈 8 在弹簧 7 的作用下，首先将分瓣式内支承 10 压向下模座 3，并同时向外扩张，将坯筒与外支承间的空隙胀满。当下模座 3 与机床工作台 2 贴合后，下模停止下行，凹模开始将坯筒 9 缩口。凹模 5 上行后，分瓣式内支承 10 与弹顶装置 1 同时上升，内支承 10 直径缩小，工件 9 回弹，外径缩小，与外支承间出现较大的间隙。工件由下模顶端取出。

8. 拉深件挠边缩口模

旋转体拉深件切除凸缘后，在口沿位置产生向外挠曲现象，俗称挠边。挠边是杠杆挠曲的表征之一。挠边不但影响产品外观，而且严重影响对焊件的对齐，降低焊接质量，通常要加以矫正才能进入下道工序，如图 7-14 所示。

挠边缩口模设计时应注意以下几点：

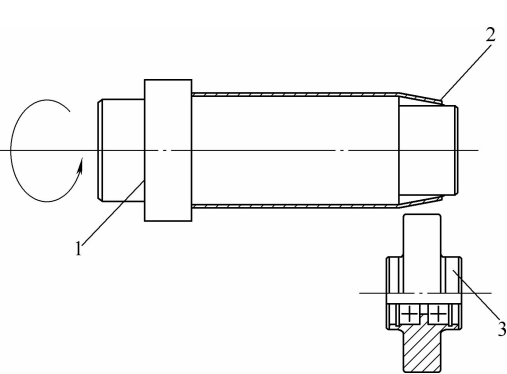


图 7-12 缩口部分辗薄
1—芯棒 2—管件 3—滚轮

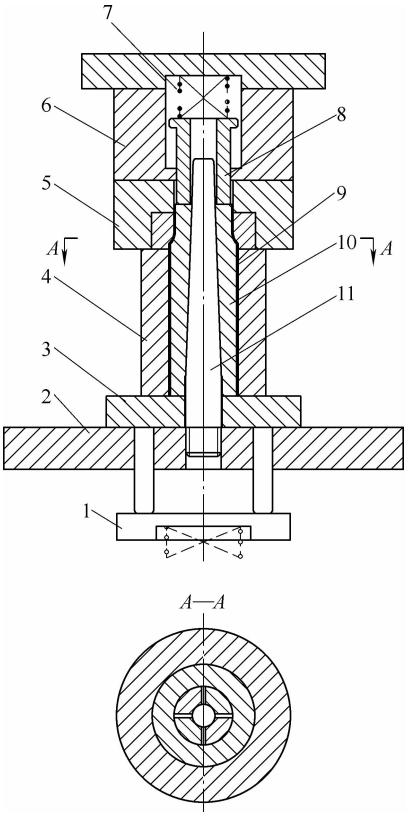


图 7-13 分瓣式内支承全张紧缩口模
1—弹顶装置 2—工作台 3—下模座 4—外支承 5—凹模 6—凹模垫块 7—弹簧 8—压圈
9—工件 10—分瓣式内支承 11—锥形芯杆

1) 上模外径小于拉深凹模内径尺寸。

2) 工作段采用合金钢, 如 GCr15 或模具钢 Cr12 制作, 外径采用低碳钢保护圈热套来获取预紧力; 这样设计不但节省资金, 更有利于模具寿命。

3) 上模型腔必须与工件严格配形 (涂红配作), 非受力点可予以剔空。

4) 上模材料不宜太硬, 可在接触面涂装橡胶漆或聚氨酯清漆, 也可以用尼龙王 (聚四氟乙烯) 代替钢材作上模, 以防擦伤工件表面。

5) 入料角取在 $3^{\circ} \sim 7^{\circ}$, 一般取 4.5° 。

6) 设计时一般将拉深模内径尺寸作为缩口模的中径, 锥口上端尺寸大于中径 $2\% \sim 5\%$; 视工件在自然状态下的椭圆程度决定。下端小于缩口后的工件尺寸, 且垂直运行距离不小于 $14t$ 。调节工件的入模深度, 可以控制工件的缩口尺寸。

7) 凸模靠台阶与凹模保护套的间隙定位。因此, 凹模保护套内径下段表面粗糙度值 Ra 应小于 $3.2\mu\text{m}$ 。

8) 凸凹模间隙 $1/2Z$ 大于或等于 $1.2t$ 。

9. 长管件缩径模

图 7-15 所示为小直径大长度管件缩径模。其工作条件: 原始直径为 19mm, 缩径为 16mm, 管材壁厚为 0.8mm, 缩径长度为 25mm, 单次工作循环为 5s, 产能可达 600 支/h。

该设计可适应一般压力机的闭合高度, 不受工件长度的限制, 但压料板应有良好的导向, 所给出的压料力应大于管件缩口力。当弹簧压力不够时, 可改用橡胶弹性体单层或叠层安装。

10. 倒挤式缩口模

如图 7-16 所示, 该模具通用性强, 只要更换不同尺寸的凹模 3、导正圈 5 以及凸模 6 就可以进

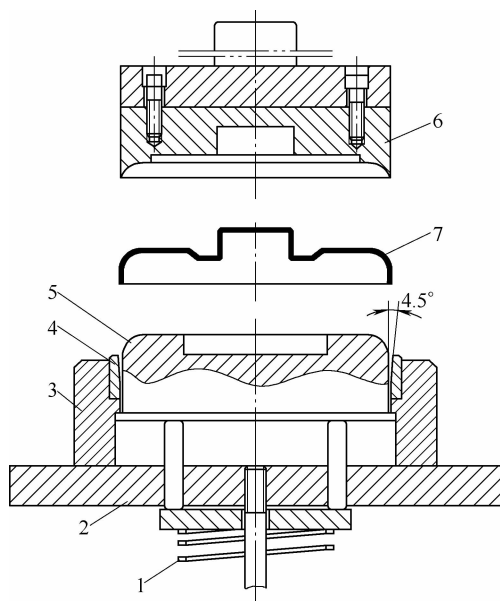


图 7-14 提锅盖缩口模

1—弹顶装置 2—下模座 3—凹模保护套
4—凹模 5—凸模 6—上模 7—工件

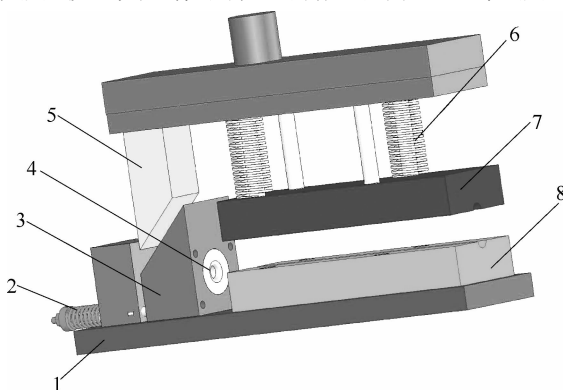


图 7-15 长管件缩径模

1—下模座 2—复位弹簧 3—滑块 4—凹模
5—斜楔 6—压料弹簧 7—压料板 8—承料板

行不同孔径的缩口。导正圈主要起导向和定位作用，同时对管坯孔起一定的外支承作用。凸模下部加工成台阶形状，其小直径与管坯内径配合，深入管坯内孔起定位导向及内支承作用。冲压时凸模大台阶对管坯加压，使管坯下端进入凹模缩口成形。

11. 缩口镦头复合模

如图 7-17 所示，管坯套在定位柱 2 上定位后，在压力机滑块下行过程中，缩口凹模 4 先对管坯上部缩口成形，随后压柱 5 对缩口端施加轴向压力，而使管坯下端头镦压成形。压力机滑块回程时，卸料板 3 在顶杆 1 的作用下将管件顶起。若管件卡在上模中，则由打料杆 6 推动压柱 5，从而将管件卸下。

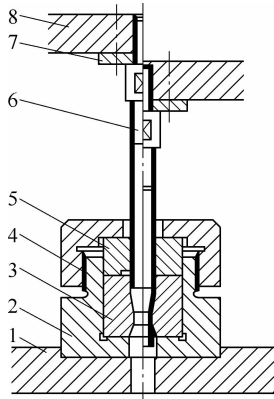


图 7-16 倒挤式缩口模

1—下模板 2—凹模套 3—凹模 4—紧固套
5—导正圈 6—凸模 7—垫板 8—上模板

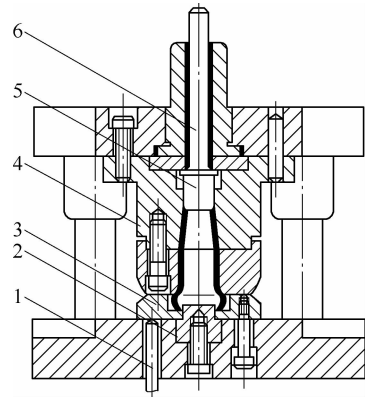


图 7-17 缩口镦头复合模

1—顶杆 2—下封口凹模 3—卸料板
4—缩口凹模 5—压柱 6—打料杆

12. 缩口封口复合模

如图 7-18 所示，管坯置于下封口凹模 2 上，并由定位圈 3 定位，定位圈兼起外支承作用。缩口凹模 6 由紧固套 4 通过螺纹紧固在模柄 8 上。在压力机滑块下降过程中，缩口凹模首先对管坯上部从直径 25mm 缩小到 22mm，最后上、下封口凹模 9、2 将管坯两端压成圆角（即实现封口成形）。上模回程时，打杆 10 推动上封口凹模下行，把管件从上模中卸下。

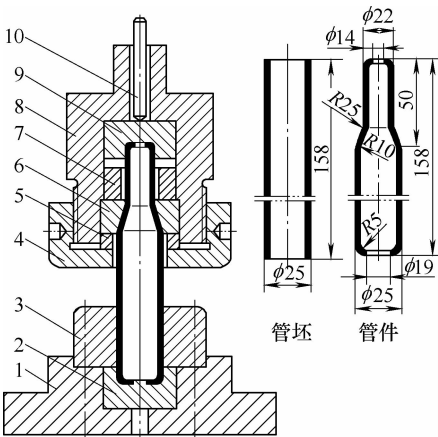


图 7-18 缩口封口复合模

1—下模板 2—下封口凹模 3—定位圈 4—紧
固套 5—垫板 6—缩口凹模 7—垫圈 8—模柄
9—上封口凹模 10—打料杆

7.1.6 滚轮缩口与缩径

1. 滚轮缩口

将锥形凸模装在车床主轴上，利用

滚轮可以对截管件直接旋压缩口,如图7-19所示。这种工艺常被用作胀形坯筒的预处理。经过旋压后的坯筒可以挂在胀形橡胶弹性体上。

2. 滚轮缩径

为了保持杯身与底盖直径一致,需要将杯身下段的材料厚度缩小一半。真空杯底盖位采用滚轮缩径的方式时,截管件的前端要留有一定长度作为工艺长度,俗称“挂口”,否则不能保证缩径位的齐正。挂口的长度 B 取材料厚度的8~10倍。通常在缩口完成后将挂口切除。滚轮缩径模如图7-20所示。

3. 一出二真空杯外壳缩径模

辗压缩径模主要是针对圆管件来设计的,用以代替圆管件缩径模,具有模具简单、生产效率高的特点。

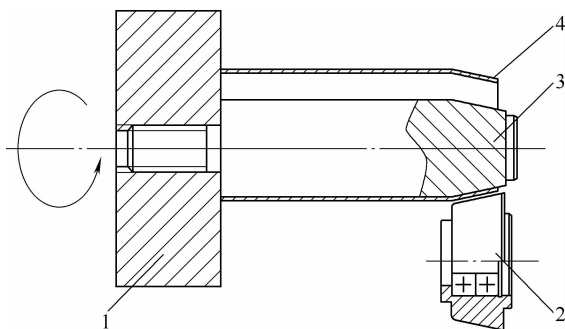


图 7-19 滚轮缩口模

1—夹持位 2—滚轮 3—心轴 4—工件

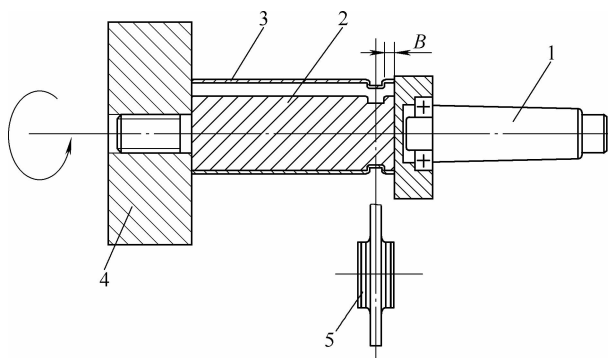


图 7-20 滚轮缩径模

1—活动顶锥 2—芯棒 3—坯筒 4—芯棒座 5—滚轮

辗压缩径模一般是安装在车床上,也有用专用设备来完成此项工作的。

图7-21所示的滚轮缩径模是在车床上操作的。截取管料的长度等于两倍的工件长度,缩径后再从中切断,分作两个反拉深坯件。模具分为左右两段,左边部分夹紧在车床主轴上,右边部分安装在尾架上,中间位置为榫卯结构,采用H9/θ9间隙配合。

滚轮缩径实质上是滚轮所能影响到的区域内的材料进行拉伸延长,形成比原直径更小的直径位。所以,这种作业的最大变形程度也不能超过材料伸长率的70%。料厚与直径的比值较大时情况有所改善,但实践证明,当缩径系数小于0.7时,材料会产生裂纹。若要继续缩小直径,可在工件退火处理后再次加工。

当滚轮向坯筒施加压力时,坯筒直径在缩小过程中产生多余的材料。如果滚轮与坯

筒接触线过长，则直径缩小后的多余材料超过两侧壁成形需要，使坯筒外径形成多棱体，并马上破裂，如图 7-22 所示。

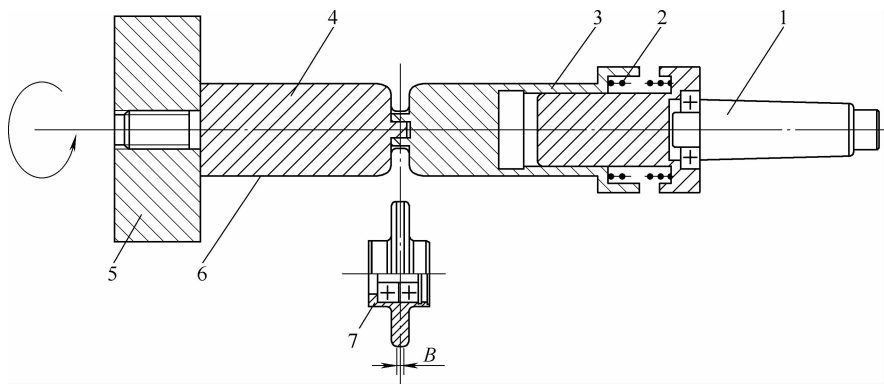


图 7-21 一出二真空杯外壳缩径模

1—锥柄 2—弹簧 3—后心轴 4—前心轴 5—夹持位 6—管料 7—滚轮

滚轮外径不能加工成球面，这样会因为球面 R 起始接触面太小而令受力处迅速变薄，不足以将两侧的材料拉入沟槽内参与变形。所以，滚轮外径应有一小段直段 B ，再用圆角半径 R 与两侧面顺滑过渡。经验表明， B 的宽度等于 $8t$ 时效果最好。

辗压轮两侧的过渡 R ，起到协助主成形 R 将材料拉入变形区的作用，其取值范围在 $8t$ 左右。辗压轮与钢管固定模的端面间隙，一般取 $2 \sim 2.5t$ 。

在缩径过程中向坯筒施加轴向压力，有利于材料向变形区流动，提高变形程度；在图 7-21 中，模具右部分与心轴是滑动的，并由弹簧向管坯施加推力。

图 7-21 所示模具的工作条件：材料为 304 焊管，料厚为 0.6mm ，主轴转速为 240r/min 。

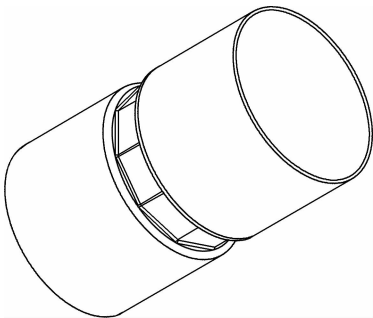


图 7-22 旋压起皱

7.1.7 旋锻缩口

旋锻缩口适合于管壁厚度与直径的比值较大（ $D/t \leq 15$ ）绝对料厚大于 3mm 的条件下，通常用作钢管缩径。

旋锻缩口模具简单，但作业时产生的振动大，宜安装在闭式压力机上使用。坯件往往要经过数次或数十次旋转捶击才能成形到合适的尺寸。

旋锻缩口模的锥角不宜太大。当锥角的单边斜度大于 8° ，或管料直径超过 50mm 、长度小于 400mm 时，禁止手工握持坯件，改用专用设备夹持，如图 7-23 所示。

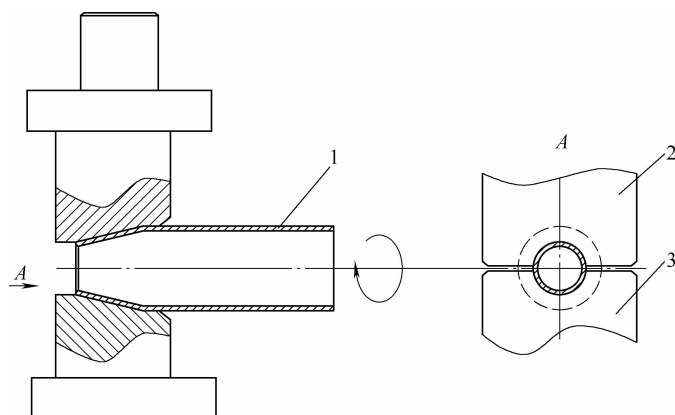


图 7-23 旋锻缩口模

1—工件 2—上模 3—下模

7.1.8 行星轮旋压缩口模

随着金属家具的兴起,缩管机应运而生,它的试验阶段是在车床上完成的。其主要工作部分由大型卡盘经改造而成,如图 7-24 所示。

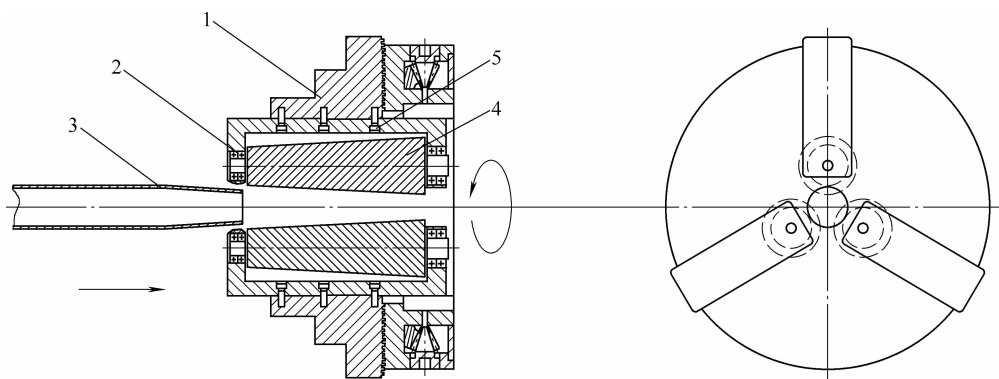


图 7-24 行星轮旋压缩口模

1—卡盘 2—轴承 3—工件 4—行星滚轮 5—支架

当卡盘公转时,行星滚轮在管材摩擦力作用下发生自转,持续地向卡盘方向推进管材,管材前端即会逐步缩小。调整卡爪与圆心的距离,可以适应不同直径的管材坯料。更换不同锥度的行星轮,可以改变管材的缩径率,直至小端接近实心状态。

7.1.9 加热旋压缩口与封口

1. 加热缩口

图 7-25a 所示为在车床上进行缩口的装置,图 7-25b 所示为已缩口的工件。

缩口前的半成品是经过三次拉深的铝杯形件,缩口时工件缩口变形部分加热至

400℃左右，车床轴带动工件以 300 ~ 400r/min 速度旋转，滚轮以 11m/min 的速度进给。由图 7-25 可知，其缩口过程经过 9 道缩口工步完成，直径缩小到原来的 1/4，厚度增加 1 倍。

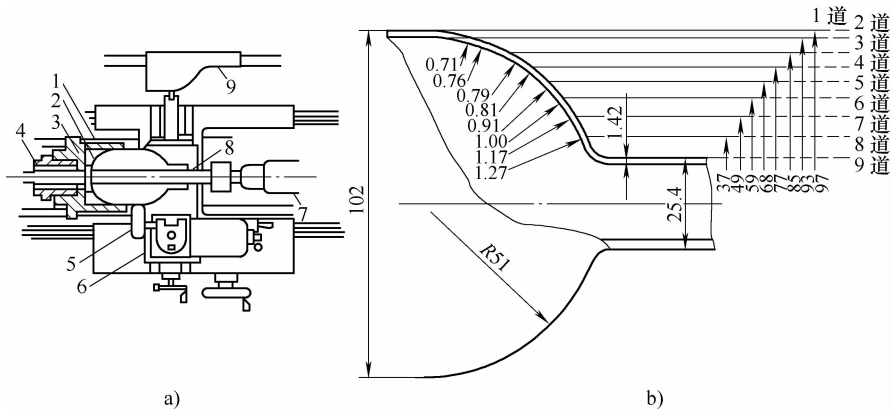


图 7-25 在车床上进行热缩口的装置

a) 缩口装置 b) 缩口后工件

- 1—装卡座 2—工件 3—顶件杆 4—车床轴 5—滚轮 6—横刀架
7—尾架顶座 8—特制顶杆 9—靠模

图 7-26 所示为一种用于管端加热缩口的装置。对于钢管，在滚轮与钢管接触之前，先采用慢速旋转；管端加热到亮红色后，快速旋转，同时用一对滚轮缩口，在缩口过程中不断用水冷却滚轮。直径与壁厚比值小于 16: 1 时，只用一对滚轮即可成形。材料壁厚越薄，所需的缩口工步及滚轮对数越多。

2. 加热封口

封口是在缩口基础上进行的，如图 7-27 所示。经图 7-27a 所示的用加热缩口到部分封口后，再加热到焊接温度，用图 7-27b 所示的滚轮滚成圆头。如果要筒端滚成平头，则先滚成图 7-27a 所示的形状，再滚成图 7-27c 所示形状，然后加热到焊接温度再滚成图 7-27d 所示的平头形状。如作为压力容器，则需再用图 7-27e 所示钢球滚轮滚成凹进型端头。

3. 摩擦发热封口

图 7-28 所示为摩擦发热封口，适用于 $D/t \leq 10$ 的钢管封口。用于非铁金属管材时，需满足 $D/t \leq 12$ 。

工作时锥套 2 做高速旋转运动，摩擦头 8 工作面成截球形。管材 7 在弹簧夹头 3 夹紧力作用下与摩擦头接触时产生大量积热，直至头部成暗红色。摩擦头在做轴向运动的

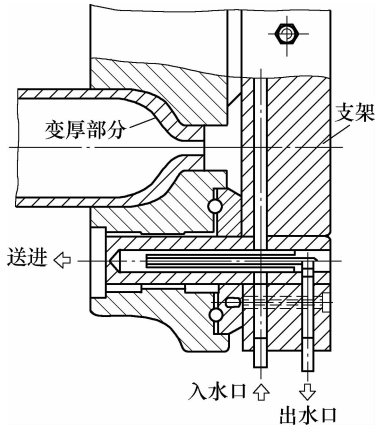


图 7-26 管端加热缩口装置及工作原理

同时并辅以径向运动，将管端逐渐封闭。前端的切刀 6 做径向运动，将拉毛的端面车平。

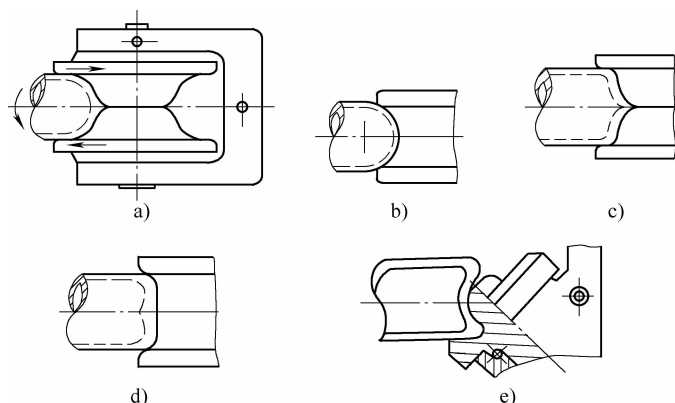


图 7-27 加热封口过程

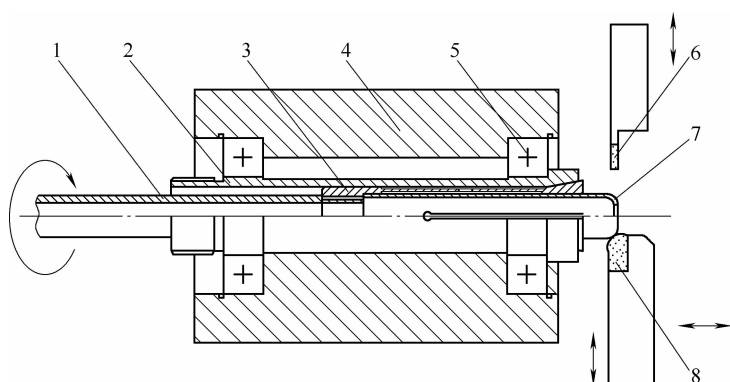


图 7-28 摩擦发热封口

1—拉杆 2—锥套 3—弹簧夹头 4—小车床本体 5—轴承 6—切刀
7—管材 8—摩擦头（硬质合金）

锥套与弹簧夹头作梯级系列化，可以适应不同尺寸的管材封口。

7.2 扩口

与缩口变形相反，扩口是使管材或冲压空心件口部扩大的一种成形工艺。根据管件的使用要求，扩口可制出管端为锥形、筒形或其他形状的零件。管料扩口在管件连接中，得到广泛应用。生产中常见的管端扩口形状如图 7-29 所示。

7.2.1 扩口变形程度

表示扩口变形程度的量有扩口率 ε 或扩口系数 K 。

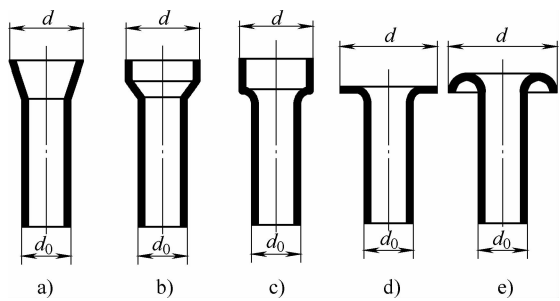


图 7-29 常见管端扩口形式

1) 扩口率为

$$\varepsilon = \frac{d - d_0}{d_0} \times 100\%$$

2) 扩口系数为

$$K = \frac{d}{d_0}$$

式中 d ——坯料扩口后直径 (mm);
 d_0 ——坯料扩口前直径 (mm)。

3) ε 和 K 的关系为

$$\varepsilon = K - 1$$

4) 影响扩口的因素。材料的力学性能、模具约束条件、管口状态、管口形状及扩口方式、管料的相对料厚和绝对料厚都对极限扩口系数产生影响。

- ①粗糙的管口不利于扩口工艺，采用刚性锥形凸模的扩口比分瓣凸模扩口有利。
- ②相对料厚 t/D 越大，则极限扩口系数也越大。
- ③承力部位增加约束，可以提高抗失稳能力。
- ④对变形区域局部加热，对于稳定工件的加工质量和增大扩口系数都有促进作用。
- ⑤显而易见，管材的扩口率受到材料伸长率的限制，当制件要求不可见明显的裂纹时，扩口率一般不大于材料伸长率的 70%。
- ⑥当制件的要求超出上述数值时，应安排多道扩口工序，并在工序间安排再结晶退火，让材料晶格重新排列。

7.2.2 扩口力

生产中一般不对扩口力进行计算，当认为确有必要时可估算，估算式为

$$F = b \pi d_j t R_m$$

式中 F ——扩口力 (N);
 b ——摩擦因数，取 1.3;
 d_j ——管材中径 (mm);

t ——管材壁厚 (mm);

R_m ——材料抗拉强度 (MPa)。

7.2.3 扩口凸模锥角与材料抗拉强度的关系

大量实践表明,当扩口长度超过 $14t$ 时,采用圆锥体扩口模,锥角单边斜度不宜超过 15° ,如图 7-30 所示。

当斜度大于 15° 时,工件受力后并不是沿柱塞向下前进,而是改为向上翻卷,形成卷边。这一现象产生的原因如下:

$\tan 15^\circ = 0.2679$, 不锈钢材料的伸长率为 $0.38 \sim 0.40$, 取 0.39 。设计时常用的不锈钢材料厚度方向变形极限通常取 70% , 超过这个比例,材料会产生裂纹。故而材料在不产生裂纹的前提下,其最大扩口率 $= 0.39 \times 0.7 = 0.273$ 。这个数据与凸模入料角的正切值是近似对应的。

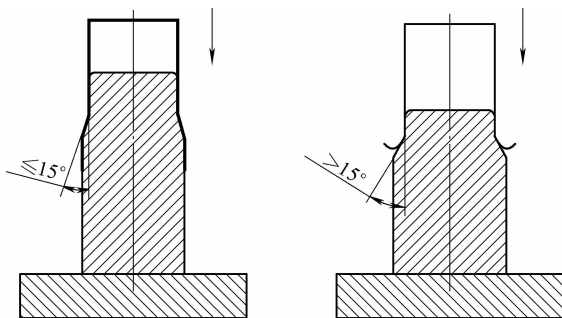


图 7-30 凸模锥角与材料抗拉强度的关系

由以上可知,胀形作业时,如果模具单边斜度超过 15° ,则管材在水平方向所得到的分力,已接近将材料撕裂,而在表面张力的束缚下,材料并不会轻易破裂,转而向弯曲寻求出路,形成卷边状态。

因此,不锈钢管材单次作业的扩口系数不可超过 1.27 。

7.2.4 管坯尺寸

对于给定形状、尺寸的扩口管件,其管坯直径及壁厚通常取与管件要求的筒体及壁厚相等。而管坯的长度尺寸,应根据管端扩口形状、按扩口前后表面积不变的原理计算。

对于某些要求平底的制件,通常的做法是,由前至后各道工序中,逐步加大凸模的锥角,如图 7-31 所示,或者是采用逐步缩小凸模圆角半径 R 的方法。

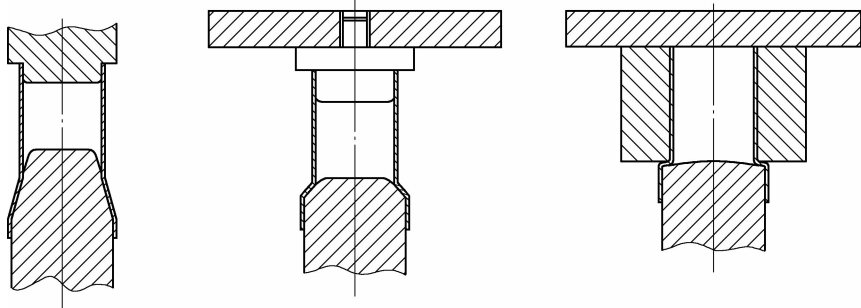


图 7-31 平底扩口件加工顺序

7.2.5 扩口模常用结构

冲压扩口是利用冲压模具对管料进行扩口加工，它使用机械压力机或液压机，因而生产率高。根据扩口管件的形状、尺寸、精度要求及生产批量的不同，应采用不同的模具结构形式。

此外，旋压、电磁成形等新工艺也都在扩口工艺中有许多成功的应用。

1. 简单扩口模

简单扩口模适用于短管件的扩口加工。图 7-32a 所示的模具，常用于管坯相对壁厚 t/D 较大时的扩口加工。图 7-32b 所示的模具，适用于管坯相对壁厚相应小些的管料扩口。图 7-32c 所示的模具，由于凹模 8 做成对开式，夹紧管坯和取出管件很方便。

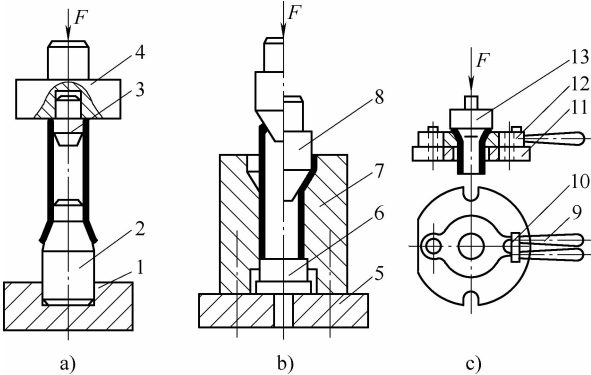


图 7-32 简单扩口模

1—凸模固定板 2、8、13—凸模 3—衬块 4—模柄 5—凹模固定板
6—顶件块 7、12—凹模 9—手柄 10—夹紧块 11—底座

2. 有夹紧装置的扩口模

如图 7-33 所示，凹模做成对开式，固定凹模 8 紧固在下模座 1 上，活动凹模 4 在斜楔 5 作用下做水平运动，实现夹紧管坯的动作。

扩口时，对开式凹模 4、8 将管坯夹紧，提高稳定性。扩口完毕后，弹簧 9 起复位作用，使取件、入料方便。

3. 有夹紧装置的双工位扩口模

如图 7-34 所示，模具上的一个工位是预成形工位，另一个工位完成终成形。扩口凹模由活动凹模 4 和固定凹模 14 组成，活动凹模在斜楔 12 的作用下与固定凹模合拢，从而将管坯夹紧。扩口完毕上模回程时，弹性卸料板 5 将管件卸下，而活动凹模则由弹簧（图 7-34

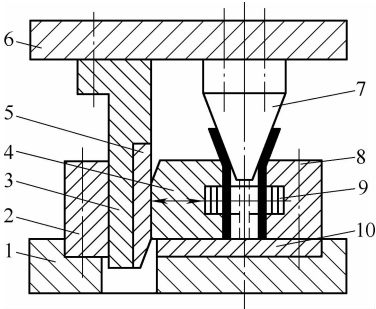


图 7-33 有夹紧装置的扩口模

1—下模座 2—挡块 3—斜楔靠背 4—活动凹模 5—斜楔 6—上模座 7—凸模
8—固定凹模 9—弹簧 10—垫板

中未画出)复位。

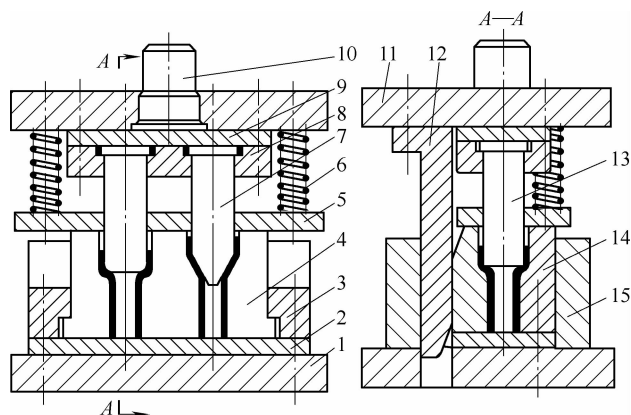


图 7-34 有夹紧装置的双工序扩口模

1—下模座 2—下模垫板 3—导板 4—活动凹模 5—卸料板 6—弹簧 7—预成形凸模 8—凸模固定板 9—上模垫板 10—模柄 11—上模板 12—斜楔 13—终成形凸模 14—固定凹模 15—挡板

4. 扩口与缩口复合模

当管件两端直径相差较大时,可以采用扩口与缩口复合工艺。

上模采用了浮动式结构;工作时凸模首先对管材扩口;随着上模下行,扩口到位,上模下平面与扩口端面抵紧,对管材下端缩口,如图 7-35 所示。

5. 加热扩口

图 7-36 所示为加热扩口装置。扩口凸模 2 固定安装于加热器 1 上,使管坯 4 变形区加热,从而降低了材料的变形抗力。冷却器 3 包围着管坯的传力区,利用冷却水对传力区连续冷却,因而不易失稳。

对于硬铝或铜管扩口时,变形区加热到 $300 \sim 350^{\circ}\text{C}$ 。加热扩口宜使用液压机,凸模下降速度为 $50 \sim 80\text{cm/min}$ 。

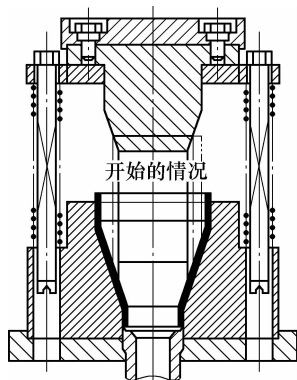


图 7-35 扩口与缩口复合模

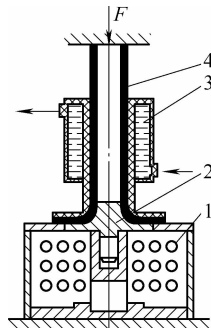


图 7-36 加热扩口装置

1—加热器 2—扩口凸模 3—冷却器 4—管坯

第 8 章 卷 边

8.1 卷边

卷边是在日用五金制品中经常用到的一种加工工艺。它的作用如下：

1) 将工件锋利的切口或披锋卷向内侧，避免伤害人体。

2) 增强工件凸缘强度，如图 8-1 所示。

3) 作为中间工序，在加工过程中防止工件口沿部分失稳变形或起皱，如图 8-2 所示。

卷边工艺可以分为硬模卷边和滚轮卷边。硬模卷边是弯曲加工的一种，在日用器皿制造中，适用于非圆形工件的边缘。



图 8-1 日用五金制品卷边
a) 碗形件卷边 b) 口杯卷边

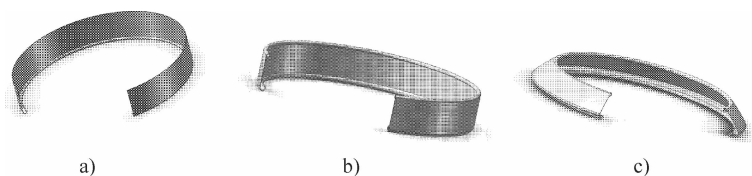


图 8-2 卷边的防皱功能（玻璃盖不锈钢包边圈）
a) 坯料圈（去掉四分之一剖视） b) 上口沿卷边 c) 成品

在滚轮卷边中，工件做旋转运动，滚轮在摩擦力的作用下做旋向相反的从动，在压力的作用下，使工件边缘顺着一定的曲率弯曲直至卷边成形。也有少数情况下采用工件不动、滚轮做自转运动的，如大型茶桶的卷边等。

8.1.1 卷边展开长度计算

卷边展开长度的计算和一般弯曲件尺寸计算相似，但卷边所使用的推卷方法使材料不是变薄而是变厚了，中性层由材料厚度中间向弯曲外层移动，因此中性层位置系数大于 0.5，如图 8-3 所示。

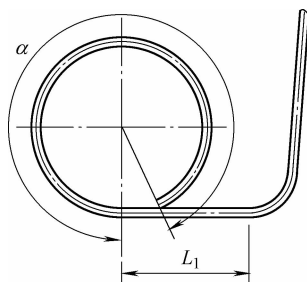


图 8-3 卷边展开长度

在设计时, 中性层的偏移可以忽略不计, 因此卷边展开长度的计算公式可简化为

$$L = \frac{\pi R}{180} \alpha + L_1$$

式中 L ——卷边展开长度 (mm);

α ——卷边角度 ($^{\circ}$);

R ——卷边半径 (mm);

L_1 ——直边长度 (mm)。

卷边角度 α 介于 $270^{\circ} \sim 315^{\circ}$, 计算时通常取 315° 。

8.1.2 硬模卷边

硬模卷边适用于圆形和各种顺滑过渡的非圆曲线工件, 用于非圆曲线工件较多。硬模还适用于非封闭曲线件的卷边。

在硬模卷边中, 模具或工件做轴向运动。在压力的作用下, 工件边缘沿凹模圆弧弯曲成形。

非圆曲线工件硬模卷边一般需两次以上才能完成, 并且下一道凸模和凹模比上一道工序缩小 90° 圆弧距离, 如图 8-4 所示。

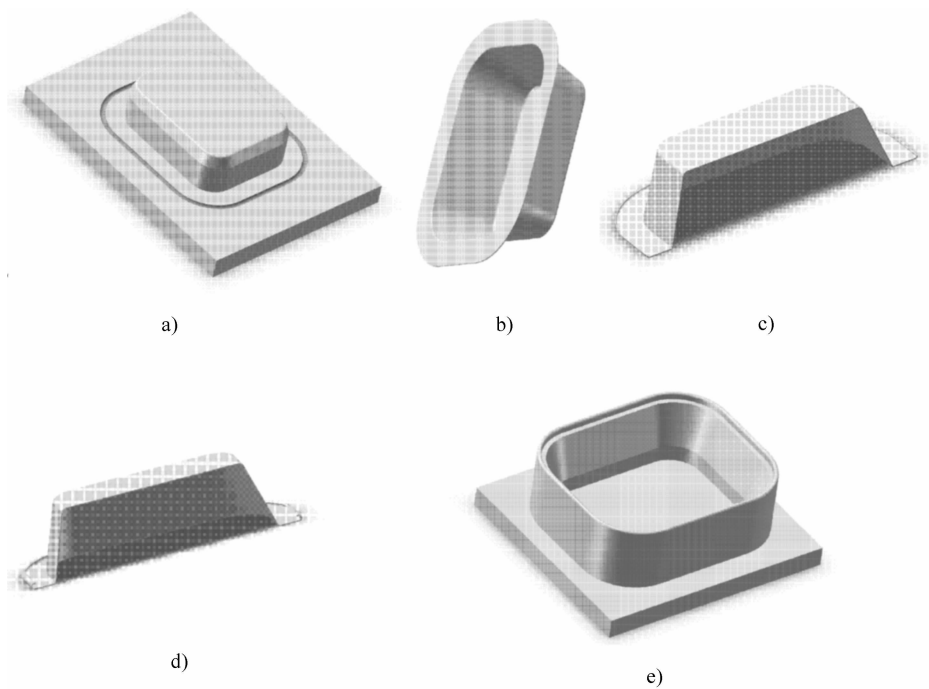


图 8-4 硬模卷边

a) 凹模 b) 坯件 c) 第一道卷边 d) 第二道卷边 e) 凸模

8.1.3 滚轮卷边

1. 特点

滚轮卷边工艺的特点是成形快，效率高，模具简单，通用性强。滚轮卷边工艺的适应性有如下一些局限：

- 1) 只适用于封闭曲线。
- 2) 材料厚度一般不大于 2mm。
- 3) 工件凸缘在一定的距离内有强力的支承，能承受滚轮压力。
- 4) 采用滚轮卷边工件的卷边部位

应处于同一平面内，最好是处于同一圆周上。滚轮卷边对于椭圆和圆角矩形有一定的适应能力，但效率相对低下。

5) 凸缘受力点或企边高度在 $14t \sim 36t$ 为佳，换言之，从卷圆起始边线到承力点之间的距离应选择在 $14 \sim 36$ 倍料厚。该距离小于 $14t$ 时，滚轮有可能擦伤工件；大于 $36t$ 时，工件刚性降低，不能保证受力后凸缘在同一平面或同一圆周上，导致正品率下降，如图 8-5 所示。

- 6) 卷边圆的直径以外径计，选择在 $(4 \sim 14)t$ ，即

$$4t \leq d \leq 14t$$

卷边圆的直径通常控制在 $(6 \sim 14)t$ ，以 $10t$ 时效果最佳。小于 $6t$ 时，材料曲率太大，滚轮易发热，工作带表面迅速被破坏，工件产生拉毛现象；大于 $14t$ 时，如果是向内卷边，工件易于失稳起皱。如果是向外卷边，则有部分区段失圆的可能。

- 7) 滚轮也可以对管材进行卷边，但有如下条件限制：

$$\frac{d}{D_0} \leq 0.2$$

式中 d ——滚轮工作带直径（mm）；

D_0 ——工件直径（mm）。

不满足该条件，则滚轮工作带在管材圆周上所占的角度太大，滚轮边缘擦伤工件，令卷边无法进行，如图 8-6 所示。

做内卷边时，管材直径与厚度的比（ D/t ）应大于 200。

- 8) 从卷圆起始边线到承力点之间的距离

超过 $36t$ 时，应考虑先行增强刚度，如采用预弯或通过拉深、翻边改变受力方向，变径

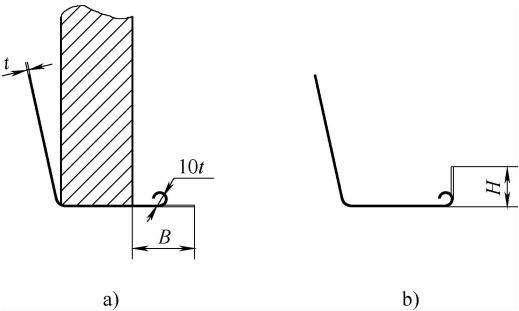


图 8-5 卷边凸缘宽度或企边高度与卷圆外径
($B \geq 14t$ 、 $H \leq 36t$)

a) 径向卷边 b) 轴向卷边

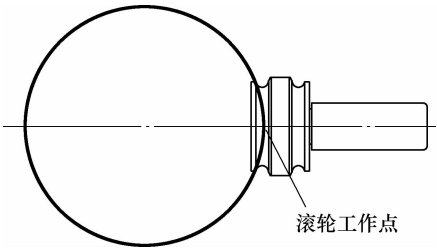


图 8-6 滚轮边缘擦伤工件

向操作为轴向操作等措施,如图 8-7 所示。

2. 滚轮卷边不同工作方式

(1) 工件旋转 具有以下特点:

- 1) 工件自动找中能力较强。
- 2) 要顾及工件的动平衡。
- 3) 工件直径大小受机台限制,一台机器只能适应一定范围内的工件直径。

(2) 滚轮旋转 具有以下特点:

- 1) 不受机床中心高限制,可加工大尺寸工件,尤其适合中小批量生产和产品试制。

2) 工件自动找中性能较差。

3) 没有工件动平衡的顾虑。

4) 滚轮支架可安装在台钻或摇臂钻上。

3. 卷边滚轮设计

图 8-8 所示为卷边滚轮与轴的通用设计。双槽式设计有利于提高工效,当一边的 R 槽光洁度被破坏时,可以迅速地换用另一边;同时双槽式设计也有利于两只轴承的相对安置,使滚轮同心度更有保障,转动更加平稳。

设计卷边滚轮时需要注意以下几点:

- 1) 滚轮外径不大于工件卷边直径的 $1/6$ 。
- 2) 工作带的表面粗糙度值应比工件图示要求低 1 ~ 2 级。
- 3) 滚轮直壁与 R 槽之间应有一角度作为过渡,此过渡区的作用:①对超出圆周的畸变部分予以理顺;②减轻对工件直壁部分的擦伤;③对工件直壁部分有扶持作用,防止捏腰现象发生;④经验表明,过渡区的斜角以 $4^\circ \sim 6^\circ$ 为宜,通常取 5° 。
- 4) R 槽出料边的高度 b 可以低于半径值,这样不但可以适应较为狭窄的工作空间,而且可以避免擦伤已成型的工作面。

5) 向内卷边时,滚轮的 R 值可比图示要求大 50% ~ 100%。这是因为,内卷边直径的大小,并不完全受 R 值大小的控制,更主要的取决于材料入料时其边缘到 R 中心点的距离。向外卷边时,滚轮的 R 值应比图样要求小 3% ~ 6%,以便对回弹给予补偿。

4. 卷边轮制作

卷边滚轮采用淬透性好、硬度高的合金钢材料,如 Cr12、Cr12MoV、W18Cr4V 制造,热处理硬度为 62 ~ 66HRC。

车制卷边轮的车刀,刀头焊接后最好采用线切割加工;线切割时,将刀头抬高

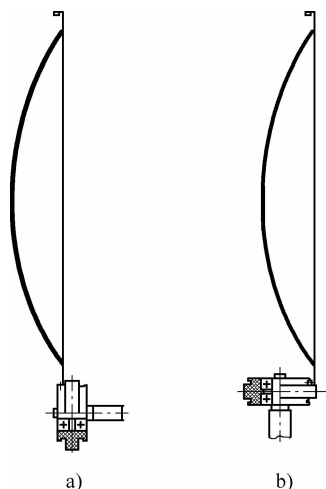


图 8-7 宽凸缘工件改径向作业为轴向作业的滚轮卷边
a) 径向作业 b) 轴向作业

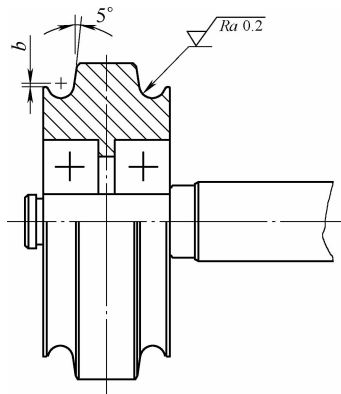


图 8-8 卷边滚轮与轴

3°~5°，刀头按图样要求的 R 作图，沿中线两侧各减去 0.15~0.3mm，合并两弧的端点。

中间减去的部分是作为荡刀之用，这样在光刀时，不会因为切削刃吃口面太宽而产生扎刀现象，可得到光洁的工作面，加快滚轮的抛光速度，如图 8-9 所示。

滚轮在热处理前即要求对工作带进行预抛光至 $Ra0.2\mu\text{m}$ 。入炉前用黏土加水玻璃调成浆状涂抹抛光面，并用石棉绳缠绕，防止泥浆干燥后脱落。出炉时搽掉黏土，快速浸入淬火液中。热处理后用细砂纸打磨，最后用金相砂纸抛光。

5. 卷边作业时工件边缘与 R 槽的相对位置

卷边作业时，工件边线与滚轮的接触点的选取，对于滚轮寿命与工件成形后的外观至关重要。

1) 卷边成形后的直径大小，主要取决于接触点与 R 中心线的距离，卷边轮 R 槽的大小对于工件的形成直径来说是重要的因素，但不是决定的因素。

2) 接触点越是靠近滚轮中心线，得到的卷边直径越小，所需要的外加压力越大，滚轮的工作带越是容易发热，进而发生划痕、起毛现象，严重时会产生积瘤，影响工件外观。

另外，卷边需要的外加压力过大，还将导致工件直壁部分不能承受。这种垂直于直壁的压力在杠杆挠曲的作用下转变成径向压力，使工件产生捏腰现象。

3) 接触点越是靠近滚轮边线，工件边线所受到的径向推力越大，所需要的外加压力越小，但此时工件起皱的概率也越大。

工件边线所受到的径向推力过小时，工件的弯曲过程并非由上至下逐层推进，所以不能得到圆滑的外径表面。

4) 接触点在对准在过 R 中心点 42° 的位置时，所需要的外加压力较小，且工件不会起皱，外观完好、光洁。肉眼观察时，工件边缘对准半圆的 2/3 的位置即可，如图 8-10 所示。

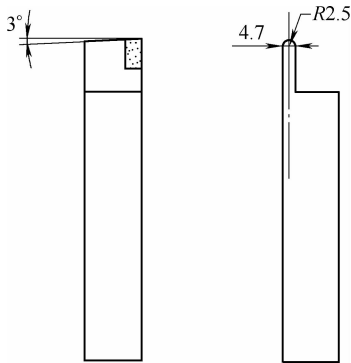


图 8-9 滚轮 R 槽车刀线切割

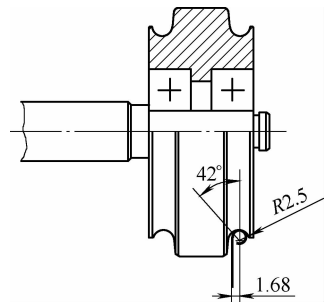


图 8-10 工件边缘在滚轮 R 槽上的相对位置

8.1.4 滚轮卷边工艺的前道工序——预弯

滚轮卷边能否生产出合格的产品，完全取决于滚轮与工件边缘初始接触的 15°~30°，假如这一区域内能顺利完成弯曲并达到一致，则后面的卷圆过程会十分的顺利。

在卷边作业中，工件的边缘是在滚轮 R 槽的作用下单向受力弯曲。实践表明，凸缘宽度超过 $36t$ 即不能承受卷边产生的径向压力，凸缘受力后产生波动，忽左忽右，造成工件报废。

另一方面,经过了拉深切边等多次加工的坯件,并不能保证边缘线与滚轮永远接触在一个正确的点上。因以上原因所造成的废品占到总废品率的90%以上。

预弯是利用一对偶合的模具对工件边缘 $15^{\circ} \sim 30^{\circ}$ 区域进行强制变形。预弯后工件边缘部分已趋于一致,并且工件凸缘的强度也有很大的提升。

实践表明,预弯是形状复杂、边缘不齐或凸缘虚薄等原因导致卷边困难的情况下,施行滚轮卷边的必要工序,尤其对于圆角正方形、椭圆形和超大卷边直径的工件而言,是必不可少的。以某款圆角正方形玻璃盖不锈钢圈为例,未预弯前正品率仅为23%,预弯后达到99.8%,不但正品率大为提高,而且加工速度也提高了2.5倍,即使增加了一道工序。

预弯模通常设计成对偶模形式,即两只滚轮的工作带(或面)互相偶合。卷边预弯对偶模常用的有以下三种形式:

- 1) 凸模上置式,用于大尺寸产品高企边内卷边的预弯,如图8-11所示。

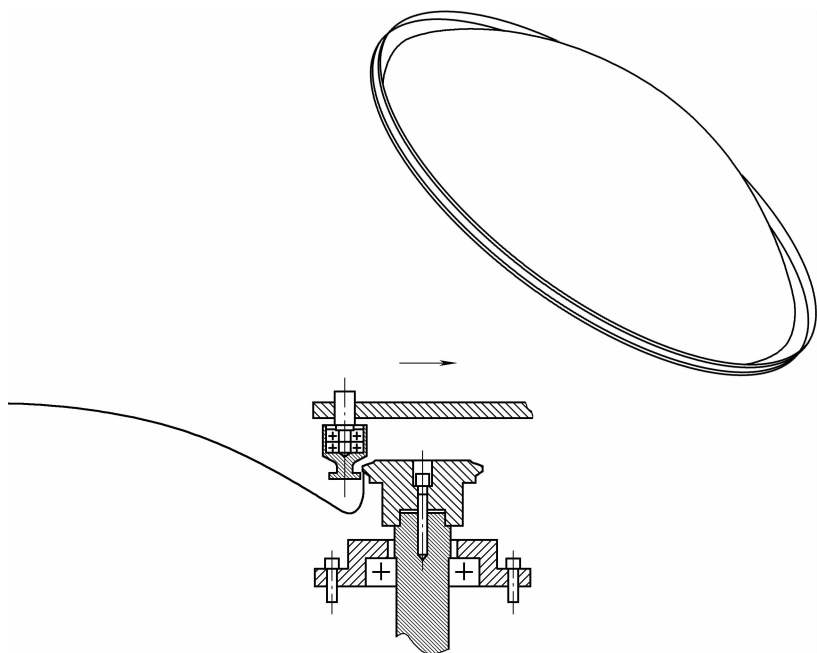


图8-11 高企边火盆预弯模

- 2) 凸模下置式,用于圆角正方形或椭圆形玻璃盖不锈钢圈的内卷边的预弯,如图8-12所示。

- 3) 凸模外置式,用于器皿盖类产品内卷边前的预弯。

图8-11所示的凸模上置式预弯模,是为了解决大直径、高企边工件边线不圆整,卷边失稳而设计的。通常的情况是,设计者们总是希望主动轮的直径较大,从而获得与工件间有较大的贴合线取得较大的驱动能力,但在这一款模具中,这个先决条件已被工

件的形制所否定。在工件的翻边宽度距离内活动的滚轮是不足以驱动大的工件的，所以工作台要求辅以向心排列的带滚动轴承的滚棒。这一款预弯模投产后，将原来的正品率由 28% 提高 100%；其工件数据：最大工件直径为 1200mm，料厚为 0.8mm，企边高度为 40mm，卷边直径为 10mm。

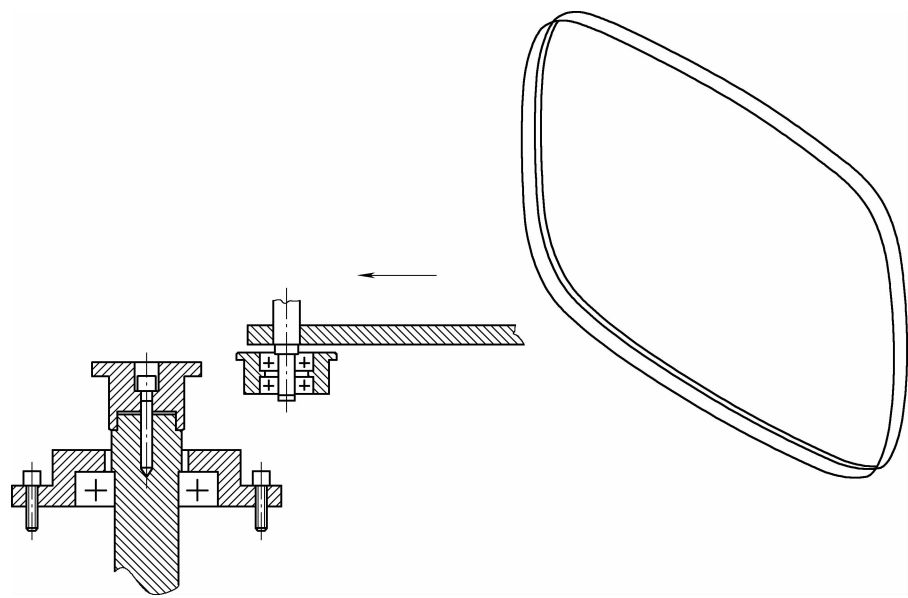


图 8-12 圆角正方形不锈钢圈预弯模

在图 8-12 中，对偶模的主动轮线速度不能太快，用于圆角正方形或椭圆形玻璃盖不锈钢圈的内卷边的预弯时，要视工件长短轴的比例大小来决定。比例不大时，通常不大于 10cm/s；比例较大时，速度要求放慢至 4cm/s。另外，作为圆角正方形或椭圆形工件预弯的主动轮直径不能大于工件圆角半径的 1/2，否则将导致工件在转角处时与主动轮的包络线加长，移动速度突然加快令预弯失败。

8.2 卷边模典型结构

1. 硬模双向卷边模

图 8-13 所示为双向卷边模，在上下凹模的尺寸、曲率、表面粗糙度和润滑条件完全一致的情况下，可以得到两端相等的卷边效果。

2. 圆角正方形盘（盆）硬模卷边

圆角正方形盘作硬模卷边时，其直边部分受力只相当于折弯，而圆角部分的受力相当于拉深，后者受力要比前者大得多。所以在设计模具时，有意识地将凹模四角圆角半径 R 的顶点内移 $2t \sim 4t$ ，令凹模与工件的接触点向内移动，这样角部的材料与直边部分的材料相比，曲率更大，就可以得到的工件周边圆角半径 R 一致的产品。

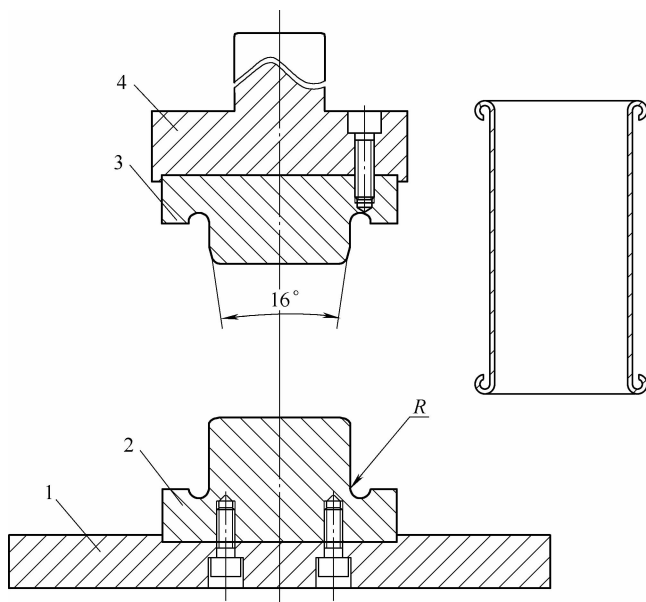


图 8-13 圆筒件硬模双向卷边模

1—底座 2—下凹模 3—上凹模 4—上模座

卷边时，四角圆角半径 R 槽的最大位置应能涵盖工件边缘，否则可先行将工件预弯。

在圆角正方形玻璃盖滚轮包边模具设计时，将靠模四角圆角半径 R 的顶点向内移动 $2t \sim 4t$ ，令滚轮与钢环带的接触点外移，所起的作用和得到的效果与硬模卷边一致，如图 8-14 所示。

3. 壶嘴卷边铆合模

壶嘴与壶体的铆合模，是以卷边的形式在壶体的空腔内进行的。在此种上模行程受到限制的条件下，通常采取不用模柄的方法，由弹簧控制上模抬起的高度，如图 8-15 所示。

4. 鸡眼翻铆模

鸡眼又称鸡目、气眼，是由平板材料经冲孔翻边后形成的带法兰的圆环形工件，通常是铆扣在炊具钢化玻璃盖上，供透气用。

鸡眼的翻铆位材料中径很小，仅 4.7mm。高档炊具上的鸡眼翻铆时边缘不允许出现裂纹，这就要求翻铆后的最大直径不大于 5.9mm。

鸡眼翻铆模的环槽高度不能超过半径，否则有可能压到玻璃，导致玻璃碎裂。

翻铆模材料采用热处理硬度高，抛光效果好的 T10 或 Cr12MoV，环槽表面粗糙度值 Ra 应小于 $0.2\mu\text{m}$ 。图 8-16 所示为孔径 5mm 的不锈钢鸡眼翻铆模。

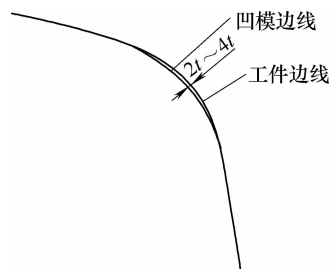


图 8-14 圆角正方形工件转角处的凹模处理

5. 大型工件卷边模

茶桶之类的大型工件卷边，可以采用工件不动、卷边轮沿工件外径做圆周运动的方式，在摇臂钻床上完成，如图 8-17 所示。

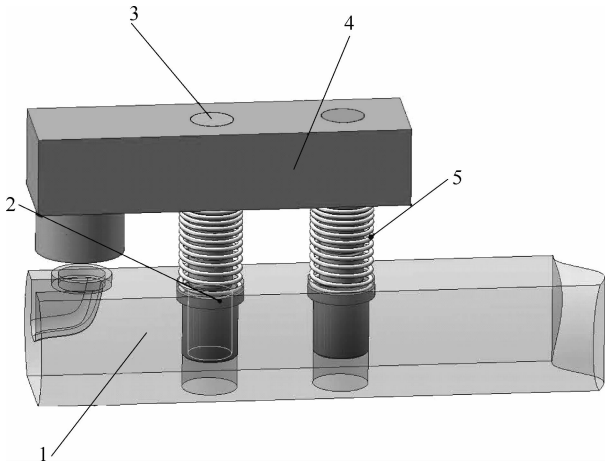


图 8-15 壶嘴卷边铆合模

1—模座 2—导套 3—导柱 4—上模座 5—弹簧

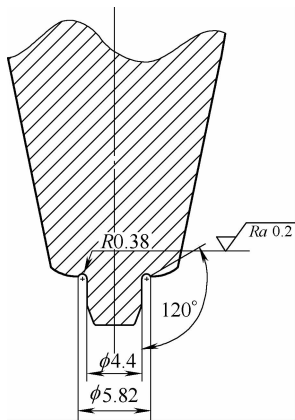


图 8-16 孔径 5mm 的不锈钢鸡眼翻铆模

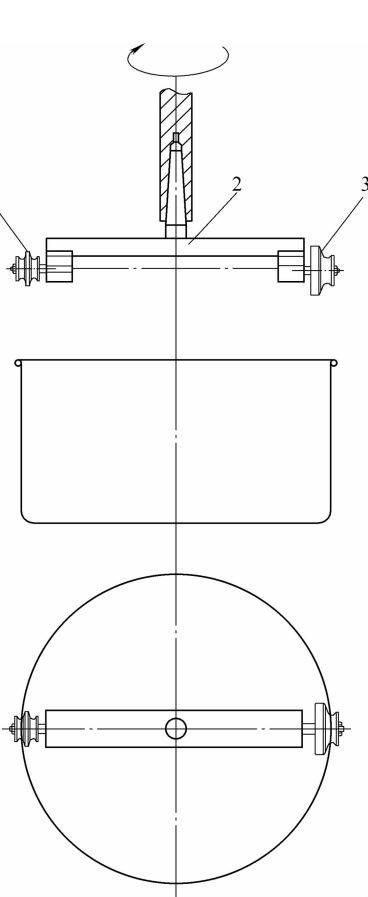


图 8-17 茶桶卷边模

1—卷边滚轮 2—支架 3—整圆滚轮

制作时，首先要做好转动部分的动平衡，否则滚轮支架转起来会产生振动。滚轮一般采取成对或三只间隔 120°的方式安装。

筒形件直径大，容易导致刚性不足，在安装卷边轮时，可令其中一只负担工件沿口整圆，其余负担卷圆。整圆滚轮如图 8-18 所示。

负责沿口整圆的滚轮接触点要靠近 R 槽里侧一些。负责卷圆的滚轮接触工件的时间相对负责沿口整圆的滚轮而言，要滞后一

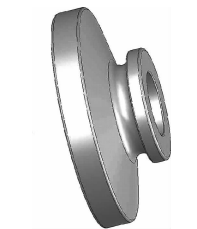


图 8-18 整圆滚轮

定的高度。视材料厚度与工件直径的比例大小而定，比例小时取大值。

6. 杠杆式偏心轮卷边

杠杆式偏心轮卷边装置是安装在小型钻床上来完成卷边工作的，主要加工对象是直径 300mm 以下的各种浅拉深件。如图 8-19 所示为杠杆式偏心轮驱动保温提锅双层盖卷边机构，具有定位方便准确，操作轻松、生产效率高的优点，生产速度可达 900 件/h。

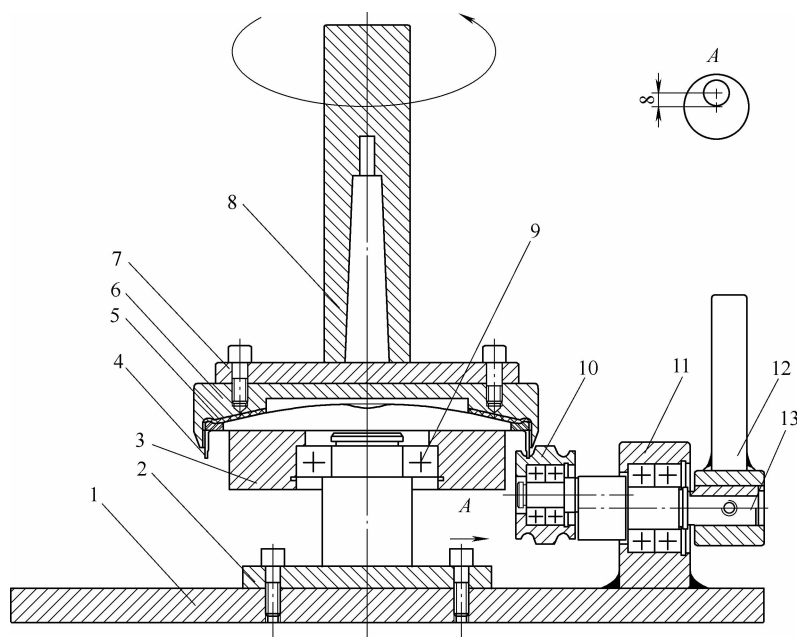


图 8-19 杠杆式偏心轮驱动保温提锅双层盖卷边机构

1—底座 2—主轴承座 3—托盘 4—工件（双层保温提锅盖） 5—橡胶垫 6—上模
7—上模座 8—钻床主轴 9—轴承 10—卷边轮 11—偏心轴座 12—摇臂 13—偏心轴与键

上模、上模座通过锥柄与钻床主轴连接。上模内粘贴有橡胶垫 5，以防擦伤工件表面。工作时的驱动力由钻床主轴提供。上模设计时，承力点应放在邻近工件外径这一区段内，其余部分可以剔空。

偏心轴采用双轴承并列，以保证卷边轮的工作精度和模具寿命。偏心轴的偏心量不宜过大，一般大于卷边的展开长度并加上一定裕量即可。

操作时，钻床主轴 8 连续转动。工件 4 放置在托盘 3 上。右手将钻床手柄压下，工件自动定心并开始转动。此时，左手将凸轮轴摇臂 12 向后拉，然后复位，钻床主轴 8 上移，取下工件 4，即完成一个工作循环。

7. 大型工件预弯机构

预弯模的工作特点之一是在凸模（或相当于凸模的滚轮、圆盘，下同）与材料、凹模之间形成完全贴合的状态。大型工件因为直径大，占用材料多，如果新开预弯模，不但通用性差，而且也很不经济。大型工件预弯机构很好地解决了这一难题，它不但投

入少，而且通用性强，可以适用于较大直径范围内工件的预弯，如图 8-20 所示。

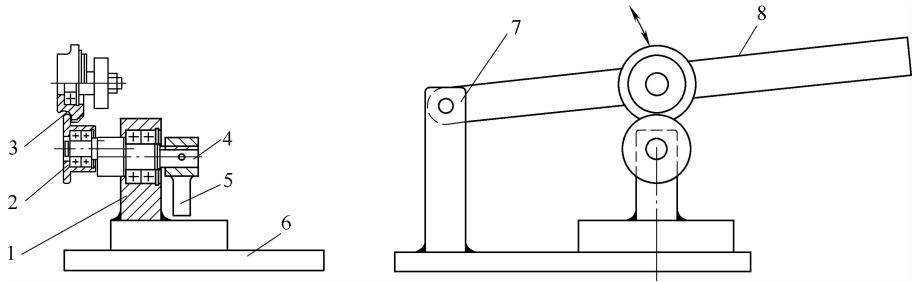


图 8-20 大凸缘工件预弯机构

1—偏心轴座 2—下滚轮 3—上滚轮 4—偏心轴 5—手柄 6—模座 7—力臂座 8—力臂

下滚轮（相当于凸模）安装在偏心轴 4 上，摆动手柄 5，可以在最高点与最低点之间进行选择。以该机构在多工位圆盘机上的操作为例，剪边作业时，偏心轴选择在最低点。剪边完成后，摆动手柄 5，下滚轮 2 处在最高点，压下力臂 8，上滚轮 3 对材料施行预弯。预弯完成后，再次摆动手柄 5，下滚轮 2 恢复到最低点，避免了对工件凸缘的干涉，机台进入卷边作业。

8. 卷边预弯机

工件凸缘宽度大，企边高度大，或因退火程度不一致等原因引起卷圆边线发生挠曲而不在同一环形线上，如果直接进行卷边作业，正品率将急剧下降，有时甚至不能进行。如果在卷边前进行一次预弯，将极大地改善成形条件，提高正品率，多数情况下可达 100%，如图 8-21 所示。



图 8-21 高企边大直径工件

a) 卷边前 b) 卷边后

工件预弯时线速度不可太大，以 6 ~ 10cm/s 为宜，尤其是针对圆角正方形或椭圆形产品进行操作的时候，主轴转速不能太高。对偶成形轮中的主动轮的直径也不宜太大。除此之外，最好是在驱动电路中加入变频器，对电动机转速进行控制，以适应不同直径产品的需要。

图 8-22 所示为高企边大直径工件预弯机，适合于材料相对厚度较小或企边高度过大的直径较大的工件预卷边。

主轴 1 从工作台 13 中伸出。调整气缸座下的高度调节螺栓 3，可以调节对偶模 8 的

配合状态。选择调节工件高度调节螺栓 10, 可以调整工件 14 与对偶模中凹模的配合状态。滚筒 9 起到减小工件与工作台面摩擦力的作用。

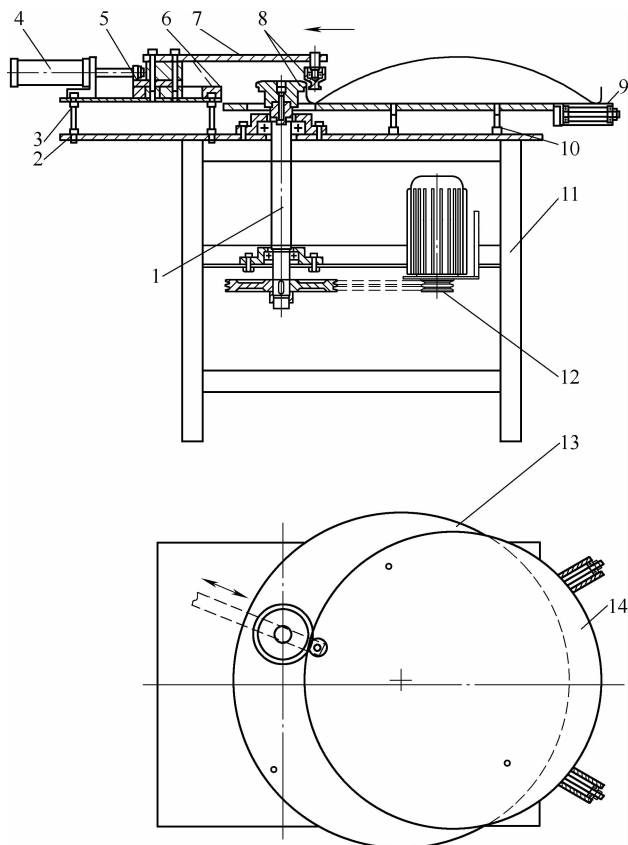


图 8-22 高企边大直径工件预弯机

1—主轴 2—机台面 3—高度调节螺栓 4—气缸 5—滑座 6—导轨 7—力臂 8—预弯偶模
9—滚筒 10—工件高度调节螺栓 11—机台柱脚 12—电动机与传动装置 13—工作平台 14—工件

图 8-24 所示为通用卷边预弯机, 适合于一般工件的预弯。换用凹模外置式对偶模, 也可以用作圆角正方形或椭圆形玻璃盖不锈钢圈 (图 8-23) 卷边或包边前的预弯。

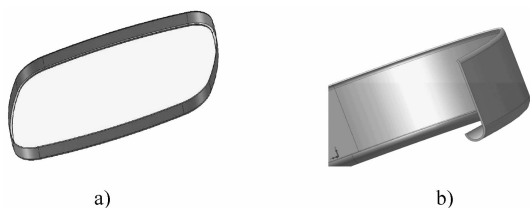


图 8-23 圆角正方形玻璃盖不锈钢圈

a) 卷边前半成品 b) 预弯放大

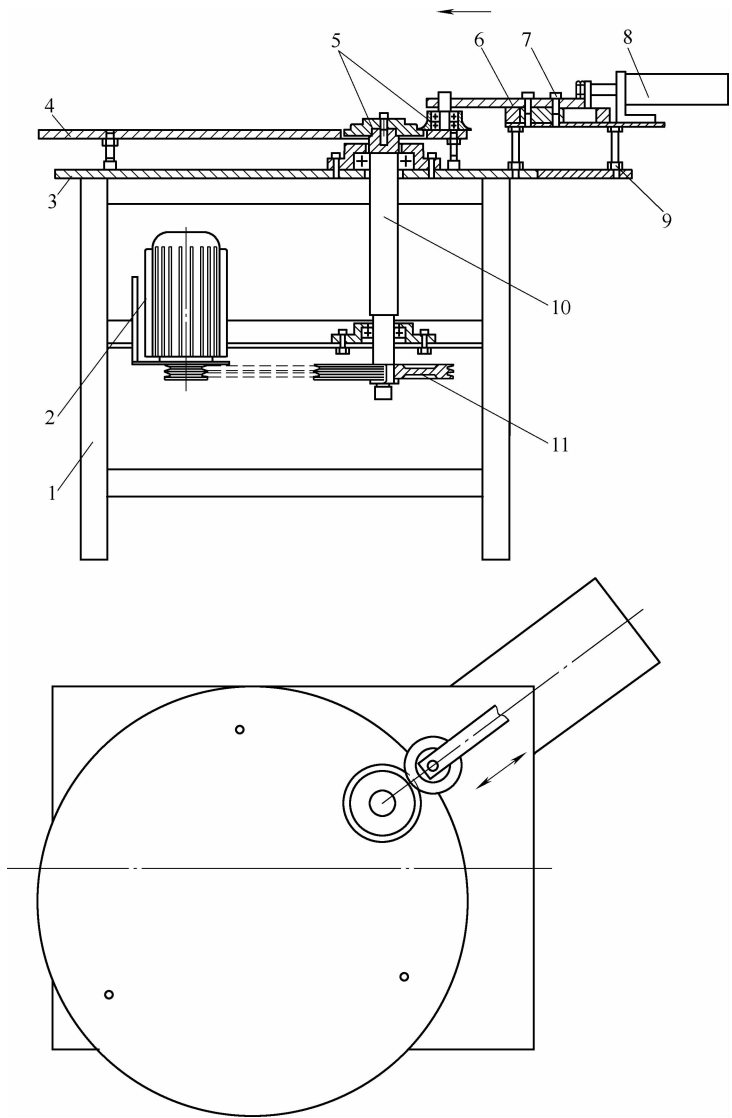


图 8-24 通用卷边预弯机

1—机台脚柱 2—电动机 3—机台面 4—工作台面 5—对偶模 6—力臂
7—导轨 8—气缸 9—高度调节螺栓 10—主轴 11—带轮

第 9 章 辗 压

9.1 辗压加工的作业范围

- 1) 对经过胀形加工后的工件进行再加工，使阳角与线条更加轮廓分明，起到美化产品外观的作用。
- 2) 凹槽或装饰线辗压。
- 3) 薄壁金属件空心螺纹辗压。
- 4) 圆管件缩口。
- 5) 圆管件缩径。
- 6) 环线焊缝、直线焊缝辗压，增加工件的平整度。作为抛光工艺的前期手段，可以大幅度减少工作量和材料消耗。
- 7) 薄板与其他材质的包覆。

图 9-1 和图 9-2 所示为罗汉杯胀形坯阳角辗压前后的外观与作业状态。



图 9-1 罗汉杯胀形后阳角辗压前后的外观

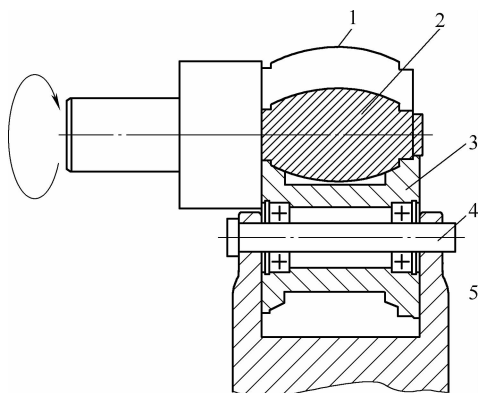


图 9-2 罗汉杯阳角辗压作业状态

- 1—杯壳 2—芯轴 3—滚轮
4—滚轮轴 5—滚轮支架

9.2 辗压模具设计

辗压模具是安装在一对相向转动的轴上工作的，为了出入料方便，通常采用简支梁结构。设计辗压模具时应注意以下几点：

1) 首先要对机台出力进行核算，保证工作线上有足够的单位压力。成形线总压力按受力点的线长计算，单位压力应大于材料的屈服强度，剔空位不必计算在内。如果压力不够，可将单件产品上的多个工作点改为独立模具，分作多道次加工。

2) 用于简支梁结构辗压机上的模具，受力点应尽量靠近支承端。

3) 滚轮边缘与工件会产生干涉现象，应将其的尾端削去一定的角度（约 2° ），形成梢尾，顺滑过渡，以防止滚轮边缘辗伤工件，如图9-3所示。

4) 凸凹模间隙按单边 $1.1t \sim 1.2t$ 计算。杠杆挠曲现象在辗压模中表现十分突出，想要得到平底沟槽，作为凹模的模胎底部也必须是平底，与作为凸模的外滚轮径向间隙不大于 $1.1t$ ，如图9-4所示。

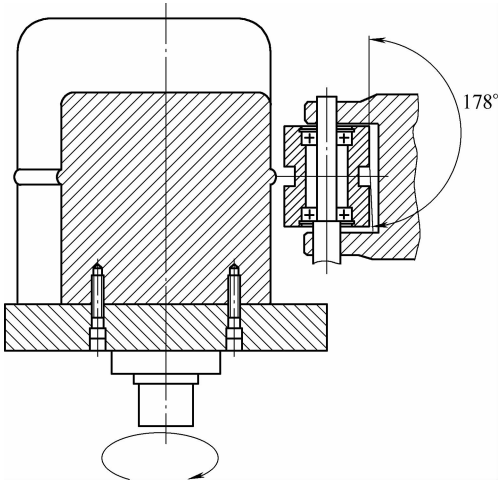


图9-3 鼎形件滚压腰肋

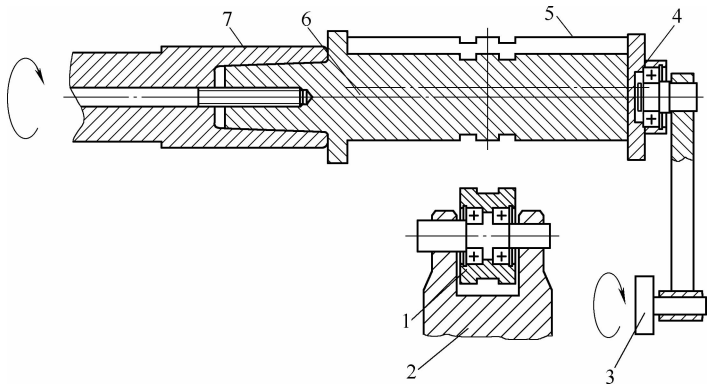


图9-4 杯体外壳装饰辗压

1—滚轮 2—支架 3—挡头转轴 4—挡头盘 5—杯壳 6—芯轴 7—辗压机轴

9.3 辗压工艺对机床的要求

杯口螺纹、提锅盖螺纹通常由简支梁式专用设备来辗压成形，有时胀形后工件的阳

角整形也由这种设备完成。

在上述作业中,尤其是当成形接近终止阶段时,材料处于张紧状态,凸、凹模只有处在严格的相对位置,工作才有可能顺利完成。倘若此时其中一只模具发生轴向窜动,则对偶模即刻由拉深状态改变为剪切状态。工件马上发生破裂。

辗压成形要求主、从动轴的轴向间隙为 $0.01 \sim 0.03\text{mm}$ 。

辗压对偶模具的直径一般不大,而安装模具的一对悬臂轴又要求有较大的刚性,为了解决这一对矛盾,专用设备厂家通常将主动、从动轴承设计为滑动轴承。滑动轴承的优点是占用的空间不大,但有易发生轴向窜动的缺点。解决这一对矛盾的办法是在轴位两端双向加装平面轴承,或首端采用锥形铜套加尾端平面轴承的方法来弥补这一缺陷。所以,在验收辗压成形专用设备时,要特别留心主、从动轴的轴向窜动。设备最好是已经加装了平面轴承并能调整轴向间隙的。

9.4 装饰线辗压

1. 不同直径的辗压模

不同直径的装饰线或凸、凹肋,若直径之比超过 15% ,想在同一工序内完成辗压必须将被动滚轮按直径大小分立。分立后的元件应保证足够的承压面积,并与主轴间有良好润滑。各元件之间的端面也应保持良好的润滑。条件允许的情况下,可安装滚动轴承。

此举的目的是为了防止各接触点因线速度不一致而啃伤工件。

图 9-5 所示为双环杯环槽辗压 + 杯头胀形阳角位整形模。为了保证杯头和两个环槽位置有足够的承压面积,将凸模设计成带法兰的环套。环套内径镶配减摩铜套,外径与杯身辗压模过盈配合,联成一体。

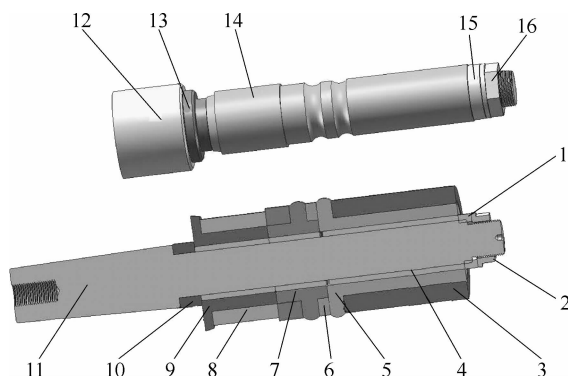


图 9-5 双环杯环槽辗压 + 杯头胀形阳角位整形模

1、6、10、13、15—垫圈 2、16—螺母 3—杯尾滚套 4—铜套 5、7—凸模 8—杯身滚套
9—杯口滚套 11—下轴 12—上轴 14—凹模

2. 辗压过程中不良现象的克服

向内辗压过程中，工件的外径缩小。直径缩小后产生的多余材料大于原表面积时，槽形的中部会出现中凸现象。一般来说，这种情况发生在沟槽宽度大于 $14t$ 以上，如图 9-6a 所示（如果辗压前后表面积相差过大，还会生成多棱形，导致坏件破裂）。

应对措施是将滚轮做成中凸形，使弧面的表面积加上两侧环的表面积等于或略大于原表面积，如图 9-6b 所示。如果中凸高度合适，解除压力后辗压位置会自行恢复成直壁。

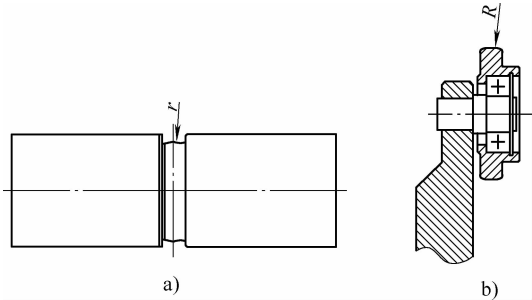


图 9-6 平顶滚轮辗压缺陷与应对
a) 工件 b) 滚轮

9.5 螺纹辗压

螺纹辗压是在专用设备上进行的，它的动力来自一对可以开合的等速或倍速相对转动的齿轮。

1. 螺纹辗压对偶模的特点

螺纹辗压模是一对车削有螺纹槽的滚轮。螺纹辗压对偶模有以下特点：

- 1) 螺纹规格一致，且互为凸、凹模。
- 2) 旋向相反。
- 3) 螺距不小于 $4t$ 。
- 4) 凹模沟槽截面为矩形，凸模工作部分截面作成半圆形或梯形并倒圆角。

5) 多线螺纹的线数一般选用 2 或 3 的整数倍，方便与加工机床的配合。

6) 直径小的产品，如真空杯类产品可以采用倍速传动，即凹模转动一圈，凸模转二圈或整数倍，如图 9-7 所示。

当螺纹线数相同时，螺旋导程相同，工作时角速度相同。辗压轮直径允许有不大的差别。所以当预设的模具尺寸与机具发生冲突时，可以将凹模外径做适当的调

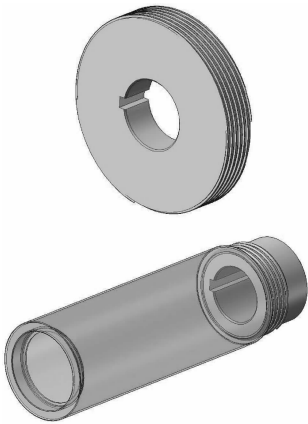


图 9-7 杯壳壳体螺纹辗压
(倍直径辗压模)

整。但直径差不要大于 15%，否则将因为线速度相差太大，发生啃伤工件的现象。

当充作凹模的螺纹线数是凸模的整数倍时，导程与直径也必须是凸模的整数倍。此时螺纹升角相同，凸、凹模转速不同。凸模与凹模之间的关系见表 9-1。

表 9-1 螺纹辗压模数据对应

模具	螺纹线数	导程	外径
凸模	1	1	1/2
凹模	2	2	1

2. 螺纹辗压模设计

螺纹辗压模具设计与加工过程中应注意以下事项：

1) 模具外径与工件内径不可相差太大，应以成形后刚好能退出为准（见图 9-8）。当模具为多线螺纹时，两者相差太大，所产生的螺纹线在工件上的分布严重失匀，会导致合扣困难或扣不紧。

2) 多线螺纹尽可能采用偶数。

3) 扣紧时应保证有 2/3 螺纹长度处在啮合状态，并且最短啮合长度不小于 8mm。

4) 凸凹模边线作适当的圆角处理。

5) 凸模断头处作坡度或球面处理。

6) 小型工件采用单线螺纹时，螺纹起点与终点不宜重合，而应是变形区的终止点互相对称，或取 1.5 圈、2.5 圈……以期得到一致或对称的变形量。在螺纹辗压过程中，一般认为，变形区以外的材料不会参与变形，螺纹是靠凸、凹模之间的材料变薄形成的。但在辗压后发现，形成螺纹时，仍有一部分材料是从变形区以外拉入的。所以当螺纹的起点与终点重合时，这一区域内的材料较之正常区域会短少得多，与杯盖配合就会出现“歪戴帽”现象。应对措施是将螺纹的起点与终点错开 180°，或是采用平均分布的多线螺纹，如图 9-9 所示。

7) 模具热处理后的硬度为 52 ~ 56HRC，最好是采用热浴淬火法或等温淬火法；谨防开裂与掉边，尤其是凸、凹模螺纹部分更要注意，入炉前可用石棉绳或防渗泥包裹予以保护。淬火后冷却至 120 ~ 150℃ 投入低温炉回火。

8) 凹模基体与工作部分采用拼合结构，有利于减小热处理变形，节省模具成本。

9) 对偶件材质不同，螺纹升角也不同。

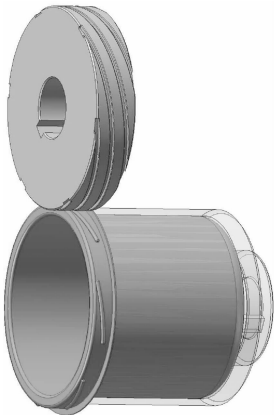


图 9-8 食篮内胆螺纹辗压（等直径辗压模）



图 9-9 螺纹起点与终点错开

3. 不锈钢器皿螺纹的螺纹升角

不锈钢器皿因内部结构不同，合扣部位所采用的材质也不尽相同。在不同的材质之间采用螺纹连接，其螺纹升角也不同。

1) 对偶件均为不锈钢辗压螺纹时，螺纹升角取为 $4^{\circ} \sim 8^{\circ}$ ，工件直径大时取大值，反之亦然。这是因为直径大 ($\geq 180\text{mm}$) 时工件失圆也就越严重。螺纹升角越大，脱扣越方便。

2) 公螺纹为不锈钢辗压螺纹、螺母为 ABS 塑料或聚碳酸酯注塑时，螺纹升角取为 $3^{\circ} \sim 5^{\circ}$ ，通常取 4° 。ABS 塑料有较好的表面滑动性，如果螺纹升角数值过大，容易发生自动脱扣现象。

3) 对偶件均为 ABS 塑料或聚碳酸酯时，螺纹升角可分为多线螺纹和单线螺纹两种情况；通常多线螺纹取 $1.5^{\circ} \sim 2.5^{\circ}$ ；单线螺纹导程 $\geq 5\text{mm}$ 。

4) 无论何种材质的螺纹，其两端在工件上均应有避空位（相当于退刀槽）。避空位宽度不小于 1 倍的螺距。

9.6 焊缝辗压模

环形焊缝工件在抛光前进行辗压，对焊迹予以整理，可以缩小最高点与最低点之间的差距，提高工件的圆整度，减少抛光的工作量和辅助材料用量。此工艺对于提高企业的经济效益有明显的意义。

当前，环形焊缝辗压模大多数是安装在简易车床上进行操作的，也有用专用设备来完成的。专用设备多采用间歇工作方式。其外滚轮由液压或气动装置提供动力。由延时继电器来决定单次工作循环的时序。

环形焊缝辗压模可以利用工件本身的弧面或底平面作定位，一般不需要专门的挡料盘。

图 9-10 所示为安装在车床上的环形焊缝辗压模。主轴 1 被自定心卡盘夹紧。为了防止脱出，主轴后端留有止口。工件 7 套在滚轮上。滚轮支架 4 是安装在刀架盒上的。

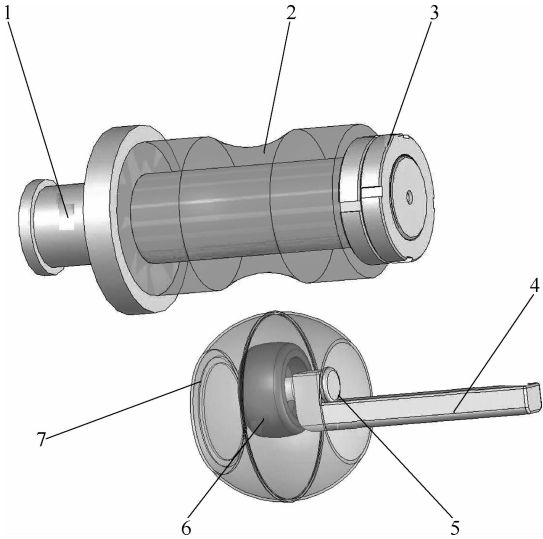


图 9-10 球形壶体焊缝辗压模

- 1—主轴 2—凹模 3—螺母 4—滚轮支架
5—滚轮轴 6—滚轮 7—制件

9.7 辗压包覆模

如果包覆前后工件边缘直径差小于 $14t$ ，圆形制件和芯件可以在车床或专用设备上直接包覆成一个整体，如图 9-11 和图 9-12 所示。

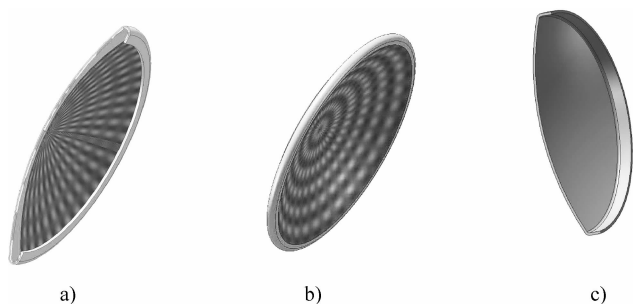


图 9-11 虎头杯饰片包覆

a) 包覆后 b) 包覆前的塑料芯 c) 包覆前的不锈钢件

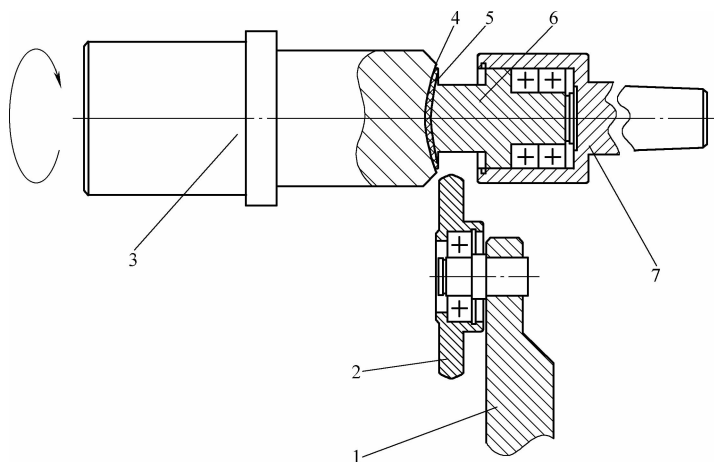


图 9-12 虎头杯饰片包模

1—滚轮支架 2—滚轮 3—凹模 4—工件 5—杯盖芯 6—凸模 7—回转顶尖

9.8 G 型玻璃盖不锈钢圈与锅具的配合角度的滚压模具

利用辗压模对玻璃盖不锈钢圈脚位进行整理，可以使其与锅具内表面良好地贴合。脚位与玻璃承托位的夹角可为 $90^\circ \sim 150^\circ$ 。此工艺的材料变化机理目前尚不清楚，有待进一步研究。

承压滚轮（主动轮）一般选用中碳钢或模具钢材料，经热处理后表面抛光。施压滚轮多采用质地较软的材料，如聚四氟乙烯棒车制，可以保护工件表面光亮不受损

伤，如图 9-13 所示。

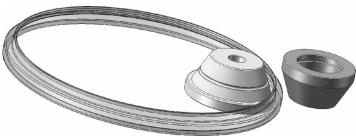


图 9-13 玻璃盖不锈钢圈角度配合滚压

9.9 辗压代替折边——摩托车链盒扣合模

用对偶辗压轮代替直线折边模，可以完成环形或直线与圆相切工件的折边与合扣。在图 9-14 所示的工作形式中，宜用小轮做主动轮，大轮做从动轮。如果采用大轮驱动的方式，则会因为弧线与直线段的包络线长不一致而造成工件运动速度发生突变。

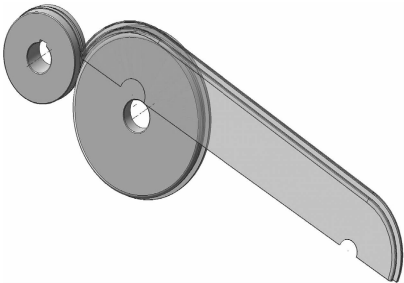


图 9-14 摩托车链盒辗压成形
(扣合工作状态)

图 9-15a 所示为摩托车链盒左扣合件辗压成形模，图 9-15b 所示为摩托车链盒右扣合件辗压成形模。上下模转速须匹配至外径线速度一致。

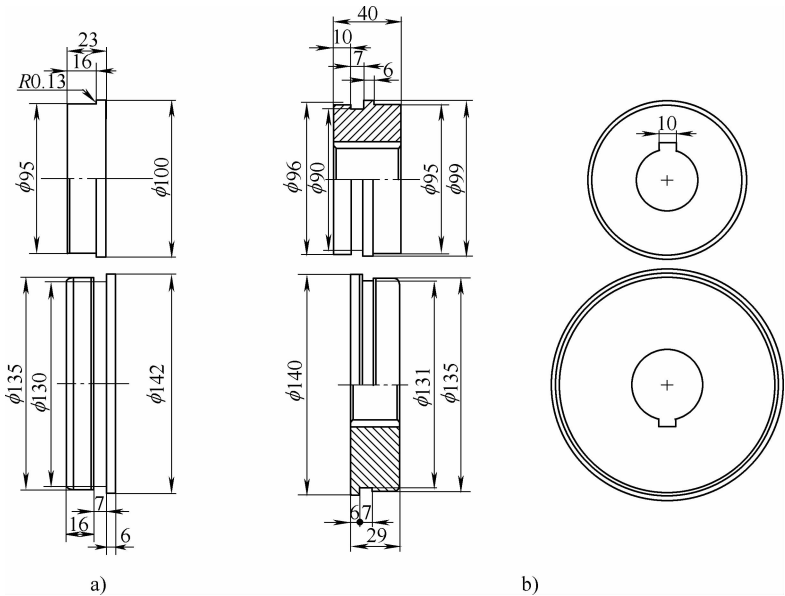


图 9-15 摩托车链盒左、右扣合件辗压成形模
a) 左扣合辗压成形模 b) 右扣合辗压成形模

9.10 辗压成形

1. 正方形管材辗压成形

图 9-16 所示为正方形管材在边长方向辗压成中凹状形状。图 9-17 所示为其成形模具，适合于薄壁管料的批量生产。

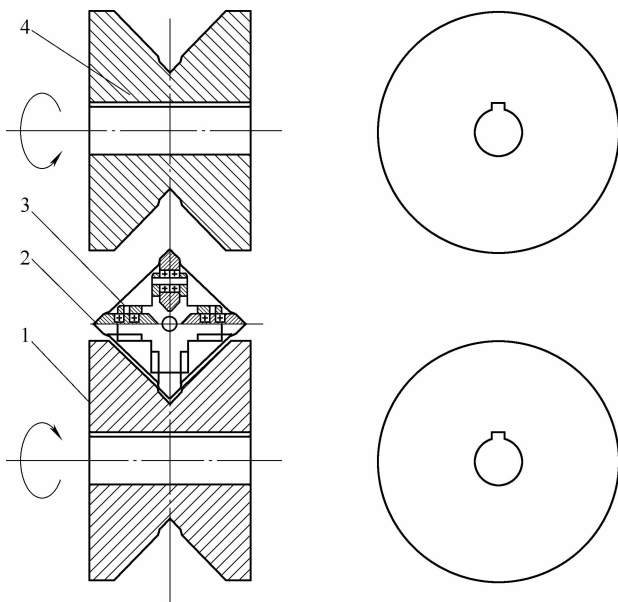
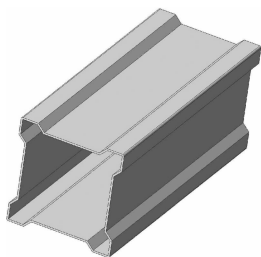


图 9-16 辗压成形方管

图 9-17 方管辗压模工作剖面

1—下滚轮 2—方管 3—芯轮组合 4—上滚轮

凸模由四只装有滚珠轴承的滚轮和支架组成，如图 9-18 所示。

凹模是一对带成形面的大直径滚轮。上、下滚轮线速度相同，通过齿轮传动接受来自减速机构的动力。工作时，方管坯料由尾端进入，然后凸模芯杆挂在机具尾部的槽形孔内，当管料在模具内受压后即会自动前进。该模具具有工作可靠，成形尺寸准确一致的优点。

2. B 型提锅把辗压成形

B 型提锅把成形模是用一对成形轮，是对有缝薄壁不锈钢圆管进行辗压加工的模具，具有型面一致、工作可靠的优点，如图 9-19 所示。

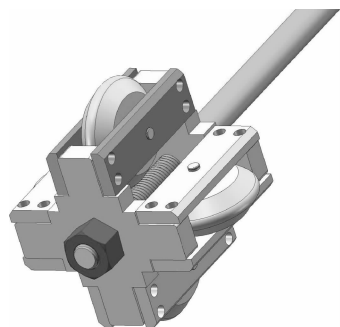


图 9-18 方管辗压凸模型芯组合

图 9-20 所示为成形后的 B 型提锅把，宽度为 24mm，高为 5.5mm，材料为直径 19mm 的不锈钢圆管，壁厚为 0.5mm。

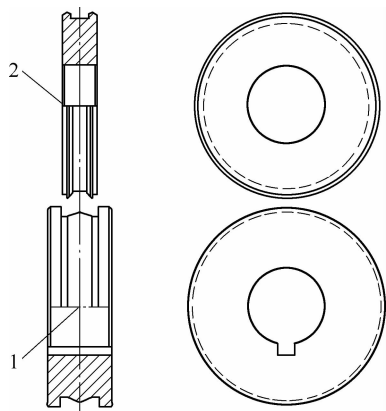


图 9-19 B 型提锅把成形模
1—主动轮 2—从动轮

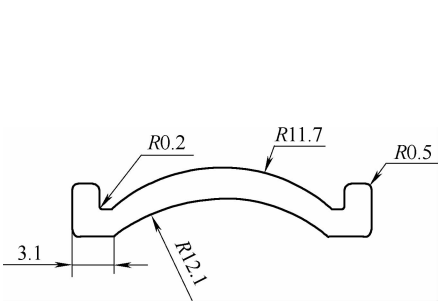


图 9-20 B 型提锅把剖视

辗压机由机架、减速机构、传动机构和成形压辊组成。主动成形压辊的线速度不宜太快，取为 $4 \sim 10\text{cm/s}$ 合适。

由于诸多方面的细微差别，辗压后的出料或多或少地出现半径极大的弧形弯曲。要精确地解决这些细微差别是十分困难的。比较有效的方法是在出料前端安装一个可调整的侧压轮，调整压力大小，可适当纠正出料偏歪现象，但只能做到不影响产品外观和后续工序的加工。

9.11 管型材无芯辗压

图 9-21 所示为圆管改型管。其模具如图 9-22 所示。

在管材改为型材的模具设计中，如果采用固定模芯（模芯不随管材运动），则摩擦阻力加大。如果采用活动模芯，则会出现模芯与滚压轮间隙难以控制和脱模困难的问题。

采用接近全包复式模具，利用管材本身的屈服强度，无型芯辗压也可以达到直接成形的目的。

图 9-22 中所示的辗压轮组适合于对向式双轴驱动的辗压机，所以两只滚轮直径是相等的。如果配套机械为单轴驱动，则主动轮与从动轮的直径比应在 $2.5:1$ 以上。

单轴驱动方式应慎用，因其所衍生的问题较多，如驱动力不足、入料困难、两侧型面不对称、弯曲、扭向等，令调整十分困难。

这种形式也拓展应用在椭圆管和矩形管的改形上，如图 9-23 和图 9-24 所示。

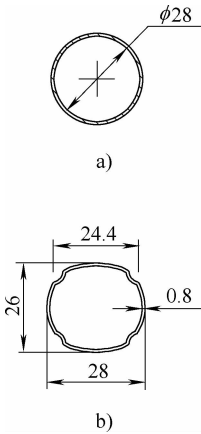


图 9-21 圆管改形管
a) 改形前 b) 改形后

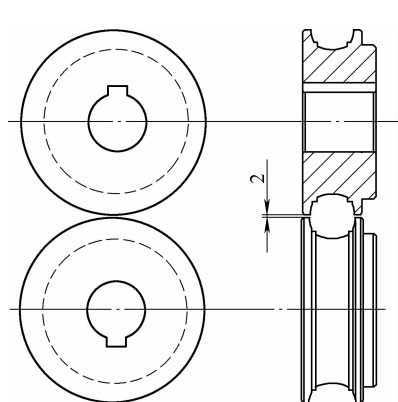


图 9-22 圆管改型管辗压模
(对向双轴驱动)

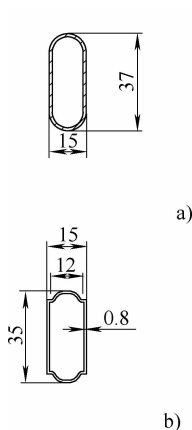


图 9-23 椭圆管改型管
a) 改型前 b) 改型后

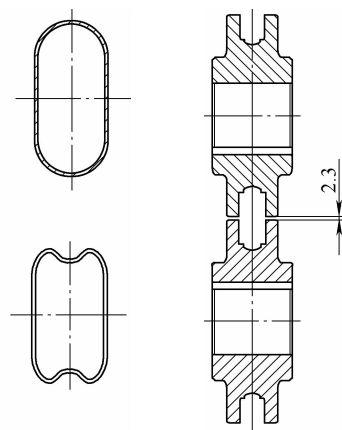


图 9-24 椭圆
管改型模

9.12 管材改型辗压机

如图 9-25 所示为薄壁圆管改作梅花管或椭圆管的改型用辗压机。

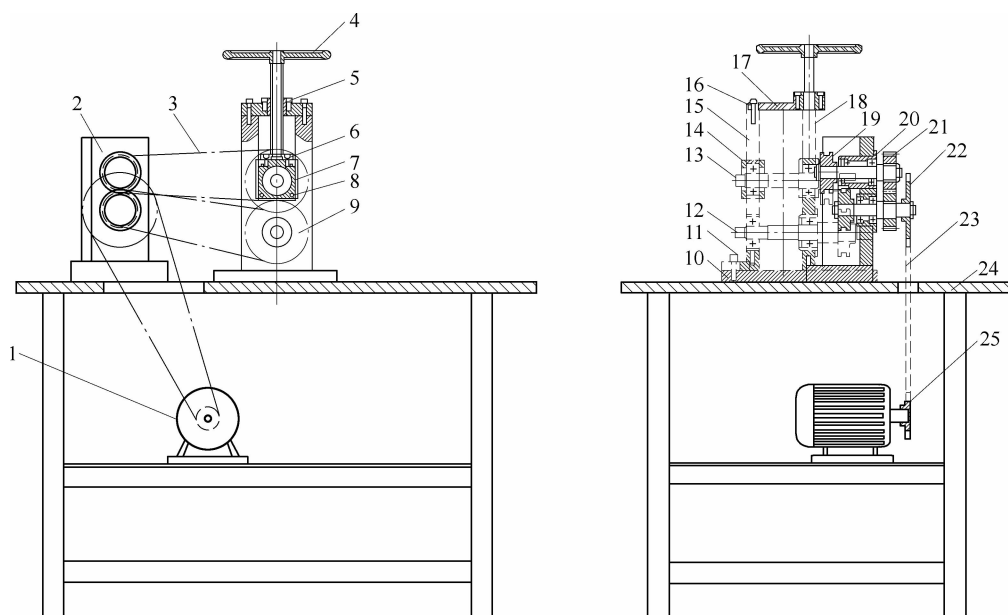


图 9-25 管材改型辗压

- 1—电动机 2—传动齿轮座 3—双排链条 4—手轮 + 螺杆 5—螺母套 6—螺杆卡座 7—滑块
8—滑块紧定螺钉 9—辊轴从动链轮 10—下模座 11—固定螺栓 12—下辊轴 13—上辊轴
14—滑块通板 15—后轴承座 16—螺栓 17—螺母座 18—前轴承座 19—二级主动链轮 20—轴承套
21—传动齿轮 22—初级从动链轮 23—单排链条 24—工作台 25—初级主动链轮

薄壁管材改型辗压,采用单级作业方式,如果管材的相对厚度 t/D 大于 0.08,或者绝对厚度大于 2mm,也可以改为双级或多级,采用逐级变形的方式加工。

在图 9-25 中,传动齿轮 21 是技术数据完全相同的一对齿轮,用以获取驱动力相同的线速度。驱动机构从辊轮支座上分立出来,利用链条和链轮做中继传动。这样,在根据工件要求调整两辊的垂直距离时,链条长度是根据两轴间夹角的余弦来变化的。在上辊轮的调整范围内,这个值不会对链条的松紧产生很明显的影晌。

在传动齿轮座 2 的设计中,舍弃了箱式结构,改为轴承套直接安装在齿轮座上。轴承套 20 起到延伸轴承位、稳定传动精度的作用。

为了防止两条传动链条 3 发生干涉,轴承套 20 设计成不同长度。两条齿轮轴均采用锥形轴承、背向安装,可通过调整轴向间隙来获取最佳滚珠游隙。

下辊轴前端轴承盒固定在前轴承座上,而上辊轴轴承盒则为适应工件尺寸,安装在滑块 7 中。滑块在前轴承座上是可移动的,两者之间形成导轨与导槽的关系,其配合关系为 H9/g8。

下辊轮轴 12 和上辊轮轴 13 与前端轴承的采用 H8/g7 配合,可以使后轴承座 15 能够相对轻松地装入或退出。与之相对应的是,螺栓 11 的孔位和丝杆座上的孔均相应开为腰圆孔。在装入辊轧模后,将后轴承座 15 推入,拧紧螺栓 16 和 11,固定后轴承座。当认为上下模之间的距离合适时,拧紧滑块紧定螺栓 8,装模工作即告完成,一般 5min 即可完成换模工作。

传动齿轮 21 的啮合线,取在可调整行程的中线上,有利于上辊轮的全程调整。

第 10 章 成 形

10.1 成形的定义

成形是指用各种局部变形的方式来改变工件或坯料形状的多种加工工序的统称。这些工序多数是在立体预制件的基础上进行的，也有部分工件是由冲裁落料后直接通过模具在弯曲、拉深、胀形、翻边过程中同时生成的。

在本书中，将冲压过程中材料除了发生平面变化以外，还在曲面空间发生变化的加工工序归入成形工艺。因为翻边、缩口、胀形、卷边等均已独立成章，所以本章内容只探讨起伏成形、压印和介于弯曲与拉深之间或拉深与胀形之间的工序工艺。

曲面空间发生的变化令工件的材料内部的变形应力互相牵制，故而成形件的回弹量很小。对于成形件的外观质量与尺寸，调整时往往偏重于压力机行程与压力的大小，回弹量一般可忽略不计。

另外，随着高技术的发展与应用，成形工艺在有些行业已发生了革命性的变化，近年来诞生的 3D 打印成形技术，已形成了取代锻造与冲压工艺的趋势。它是集中了高能聚合、计算机技术和材料科学的一种全新工艺，我国在这一领域处于世界领先地位，已用钛合金成功完成了枭龙战机的机翼打印，幅面宽达 3500mm，有兴趣的读者可以关注这方面的知识。

10.2 起伏成形

起伏成形是依靠材料的延伸，使工件局部产生凹陷或凸起的冲压工序。起伏成形主要用于压制加强肋、压印徽标用的凸台，以及金属箱体的柱脚等。图 10-1 所示为起伏

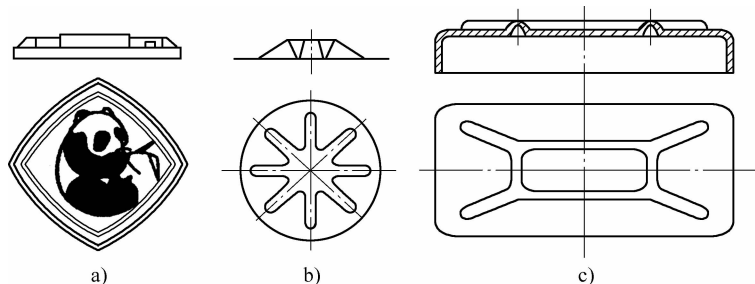


图 10-1 起伏成形实例

a) 徽标凸台 b) 压肋 c) 加强肋

成形的实例。起伏成形广泛应用于汽车、飞机、仪表、电子等工业中。

起伏成形可以采用金属模，也可以采用橡胶或液体压力成形。

1. 加强肋的成形和尺寸

常见的加强肋有平面形加强肋和直角形加强肋。平面形加强肋的形式如图 10-2 所示，其尺寸见表 10-1。直角形加强肋如图 10-3 所示，其尺寸见表 10-2。

如果加强肋与边缘的距离小于起凸高度的 7 倍，则在成形中边缘会产生收缩，因此成形前的坯料要增加切边余量。

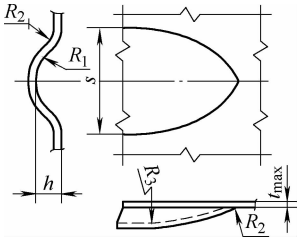


图 10-2 平面（曲面）型加强肋

表 10-1 平面（曲面）型加强肋的尺寸（单位：mm）

h	s (参考)	R_1	R_2	R_3	$t_{\max}$
1.5	7.4	3	1.5	15	0.8
2	9.6	4	2	20	0.8
3	14.3	6	3	30	1.0
4	18.8	8	4	40	1.5
5	23.2	10	5	50	1.5
7.5	34.9	15	8	75	1.5
10	47.3	20	12	100	1.5
15	72.2	30	20	150	1.5
20	94.7	40	25	200	1.5
25	117.0	50	30	250	1.5
30	139.4	60	35	300	1.5

注：本表适用于低碳钢、铝、铝镁合金。

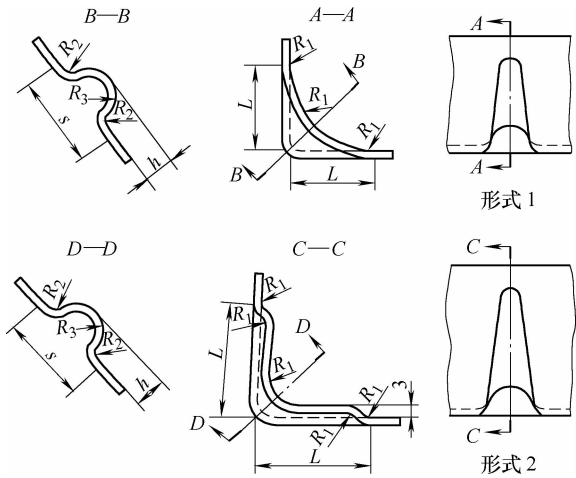


图 10-3 直角形加强肋

表 10-2 角形加强肋的尺寸 (单位: mm)

形式	L	h	R_1	R_2	R_3	s (参考)	肋与肋的间距
1	12	3	6	9	5	17.3	65
	16	5	8	16	6.5	28.2	75
2	30	6.5	9	22	8	37.3	85

2. 起伏成形的变形极限

起伏成形的变形程度可用伸长率来表示:

$$\varepsilon = \frac{L_1 - L}{L} \times 100\%$$

式中 ε ——伸长率 (%) ;
 L_1 ——材料变形后的截面长度 (mm) ;
 L ——材料变形前的原有长度 (mm) 。

起伏成形的极限变形程度, 主要受材料的塑性、凸模的几何形状和润滑等因素的影响。为简化计算, 以材料拉伸试验的伸长率 A 的 70% ~ 75% 计算, 即

$$\varepsilon_{\text{极}} = (0.70 \sim 0.75) A > \varepsilon$$

式中 $\varepsilon_{\text{极}}$ ——起伏成形的极限变形程度 (%) ;
 A ——材料的伸长率 (%) ;
 ε ——起伏成形的变形程度 (%) 。

如果计算结果符合公式要求, 则可以一次成形。否则, 应先压制成半球形的过渡形状, 然后再压出工件所需要的形状, 如图 10-4 所示。

半球形平面积的大小, 以成形的表面积为依据, 其材料的伸长率 A 取为 20% ~ 25%。设计过程中, 一般采用反推法计算, 即先算出成形所需要的表面积, 再根据材料的许用伸长率决定半球形底面积的半径。即:



图 10-4 两道工序完成的凸形
a) 预成形 b) 终成形

$$KS_{\text{表}} = S_{\text{截}} (1 + 0.75A)$$

式中 K ——系数, 一般取 0.85 ~ 0.95; 材料薄时取大值, 材料厚时取小值;
 $S_{\text{表}}$ ——半球形表面积 (mm^2);
 $S_{\text{截}}$ ——半球形截面积 (mm^2);
 A ——材料的伸长率 (%) 。

图 10-5 所示为冲制加强肋时材料的伸长率曲线。曲线 1 是伸长率的计算值, 曲线 2 画斜线部分是实际值。因成形区域外围的材料也被拉长, 故实际伸长率略低于计算值。起伏成形靠近材料边缘时, 极有可能将边线拉至变形, 故而在投入生产前应用同样的材料进行试验, 以决定是否采用压料板和调整压料板的压力大小。

3. 起伏成形的压力计算

1) 压制加强肋时的压制力计算式为

$$F = L_2 t R_m K$$

式中 F ——压制力 (N);
 L_2 ——加强肋的周长 (mm);
 K ——系数, 与肋的宽度和深度有关, $K = 0.7 \sim 1$ (当加强肋形状窄而深时取大值, 宽而浅时取小值);
 t ——材料厚度 (mm);
 R_m ——材料的抗拉强度 (MPa)。

2) 薄材料 (厚 1.5mm 以下) 起伏成形的近似压力经验公式为

$$F = AKt^2$$

式中 F ——起伏成形的压力 (N);
 A ——起伏成形的面积 (mm²);
 K ——系数, 对于钢为 400 ~ 500, 对于黄铜为 200 ~ 250;
 t ——材料厚度 (mm)。

4. 压料板

在平板料加强肋冲制模具中, 设计压料板可以有效地防止坯件挠曲变形。是否采用压料板可以通过以下条件判断 (L_1 为成形后的曲线总长度; L 为成形前直线长度)。

- 1) $\frac{L_1 - L}{L} < 0.06$, 不用压料板。
- 2) $0.10 \geq \frac{L_1 - L}{L} \geq 0.06$, 根据工件的技术要求决定是否采用压料板。
- 3) $\frac{L_1 - L}{L} > 0.10$, 采用压料板。

10.3 压印

1. 压印作业的实质与加工对象

通过压力机施压, 使材料厚度在模腔内发生变化。成形后零件表面上形成起伏的花饰图形、徽标、浮雕、字码等, 这个过程称为压印。

压印实质属于体积变形, 其变形过程类似于镦挤。日常市场上流通的硬币、运动会的奖牌、金属饰品及餐具的艺术浮雕等就是典型的压印实例。

2. 压印模形式

以字模为例, 压印可分为阴刻与阳刻。字迹宽度小于材料厚度时, 一般采用阴刻。字迹宽度大于材料厚度时, 宜采用阳刻。

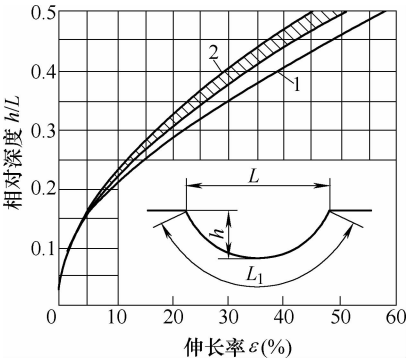


图 10-5 冲制加强肋时
材料的伸长率
1—计算值 2—实际值

阴刻不用凹模，靠凸模受压后在材料上挤出印痕，属于纯体积变形。阴刻字迹深度不超过材料厚度的 20%，压印面积不宜过大。面积过大时加工硬化严重，有可能导致产品发生时效破裂。

阳刻采用凸模将部分材料顶入凹模，加快成形过程。阳刻模具属于半拉深性质，可以适应较大面积和凸起高度较大的浮雕形式的工件。压印模凸、凹模轴向间隙小于材料厚度。

压印模不用压料板，对上模行程有严格的要求。因此，压印模应在工作状态良好的压力机上运行。

3. 压印力的计算

由于压印是体积变形，虽然压印中金属流动量不大，但为了获得清晰的压印花纹与图饰、浮雕，必须施加充足的压印力，其值计算式为

$$F_{\text{压印}} = \sigma_{\text{压印}} A$$

式中 $F_{\text{压印}}$ ——压印力 (N)；

A ——零件压印平面的面积或压印模腔投影面积 (mm²)；

$\sigma_{\text{压印}}$ ——单位压印力 (MPa)，可查表 10-3。

表 10-3 不同材料压印单位压印力

工 作 性 质	单位压力/MPa
在黄铜板上敞开压凸纹	200 ~ 500
在材料厚度 $t < 1.8\text{mm}$ 的铜板上压凸凹图案	800 ~ 900
用淬得很硬的凸模在凹模上压制轮廓	1000 ~ 1100
银币或镍币的压印	1500 ~ 1800
在材料厚度 $t < 0.4\text{mm}$ 的薄黄铜板上压印单面花纹	2500 ~ 3000
不锈钢上压印花纹	2500 ~ 3000

注：对未经整形的毛坯，压力机必须有储备功率（约占总功率的 50%），所需压力的数值随材料厚度的减小和变形速度的提高而急剧增加，只有当材料的流动性很大时所需压力才会减小。

10.4 成形模典型结构

1. 活版字码压印模

图 10-6 所示为活版字码压印模，它是为了适应沃尔玛等高端炊具市场需要而设计的，适用于炊具玻璃盖不锈钢环卷制前平板料的压印。它可以随着产品出货期的变化换用不同的字码。

字码模 4 由高速工具钢用电火花蚀刻而成。年份字码为一整体，月份和日期字码分件制作，以备更换。

除模柄外，其余零件均为矩形。模框 3 与字码模的配合为 H8/g8。垫板 7 采用碳素工具钢 T8 或 T10，经热处理硬度为 42 ~ 46HRC。斜楔 8 的斜面与模框 3 的斜面吻合，收紧斜楔 8 的螺母，字码模被全部压紧在模框 3 内。

2. 简易浮雕效果模

批量不大、线条比较简单的浮雕效果模，可采用线切割方式代替金属雕刻机或数控铣加工模具。如果所选用材料得当，可收到理想的效果，并且可节约开模费用 70% 以上。

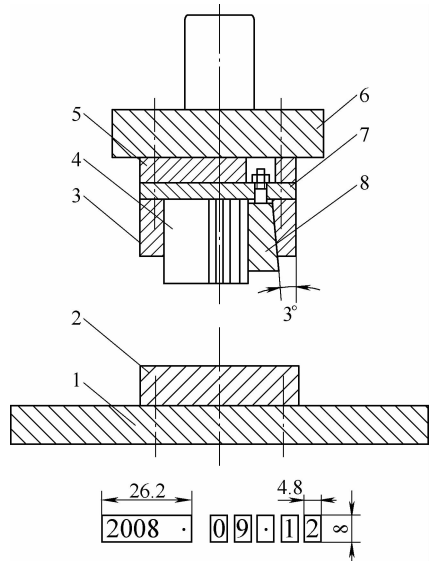


图 10-6 活版字码压印模

1—底座 2—砧台 3—模框 4—字码模
5—螺母容腔板 6—上模座 7—垫板 8—斜楔

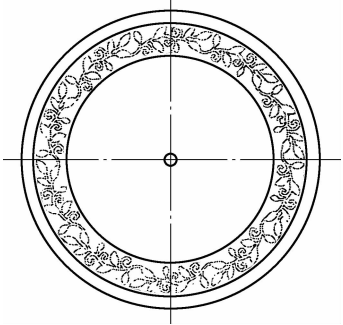


图 10-7 火盆盖子（俯视）

图 10-7 所示为某款铁制火盆盖子，图 10-8 所示为简易压印模具。

饰花为浮雕形式，高出基体平面 1mm，8 等分，首尾相接。

取厚度大于浮雕深度的废旧机用带钢锯条一截，宽度比图形多出 20 ~ 30mm 为佳，去齿、整平，分作两段。一段割出型腔作凹模。将另一段周边加工齐正，根据需要的浮雕深度，取适当厚度的冷轧薄板，二者叠合，割取凸模。余下的框料作为凸模固定板，同时割出的冷轧薄板作为垫板使用。

根据图样要求将凸、凹模边锋倒圆角。

选用直径为 6 ~ 7mm 的硬质合金钻头在凸模固定板和凹模适当的位置钻孔作为塞焊孔。钻孔直径不宜过大或太小，过大焊接热量大，容易引起钢板变形；太小则不容易焊接牢固，如图 10-9 所示。

将凸模固定板和凹模分别与相应的后背料用二氧化碳气体保护焊或焊条电弧焊进行塞焊。将凸模固定板、垫板和凸模用丙酮或酒精清洗。取丙烯酸树脂粘

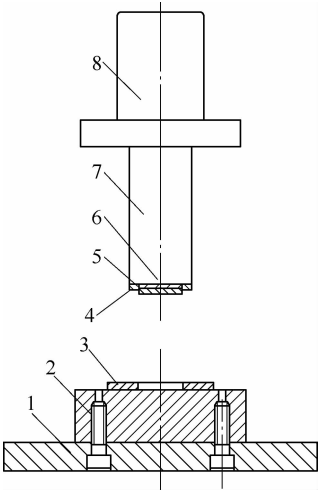


图 10-8 简易浮雕效果模

1—底座 2—凹模背料 3—凹模
4—凸模固定板 5—凸模 6—垫片
7—凸模背料 8—模柄

结剂（双组分，俗称 A、B 胶）调匀，然后将凸模、垫板与凸模固定板型腔按先后顺序粘合。加装上、下模座和模柄。待粘结剂完全固化后即可投入生产。

设计中，凸凹模单边间隙不小于 $0.13t$ 。如果选用旧圆盘锯基材作为凸、凹模材料，则在粘合前将其两面平磨（盘锯基材有中凹现象），成形效果与带料一致。

3. 茶叶滤网密封圈带成形

利用球顶凸模的水平分力，可以令受压件产生凸缘。图 10-10 所示为茶叶滤网密封圈带成形流程，图 10-11 所示为茶叶滤网密封圈带成形模。

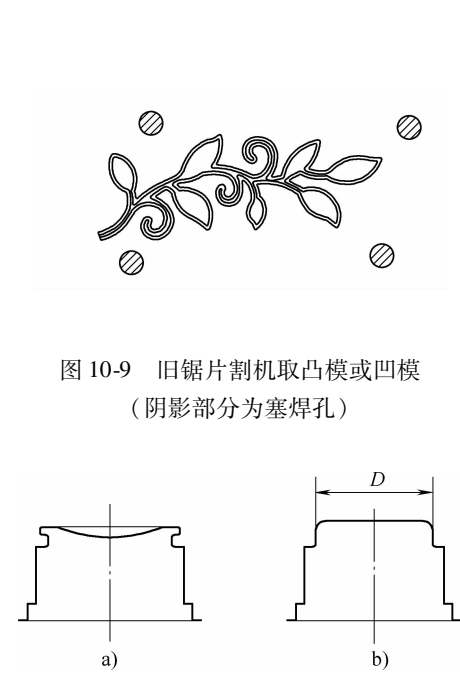


图 10-9 旧锯片割机取凸模或凹模
(阴影部分为塞焊孔)

图 10-10 茶叶滤网
a) 成形后 b) 成形前

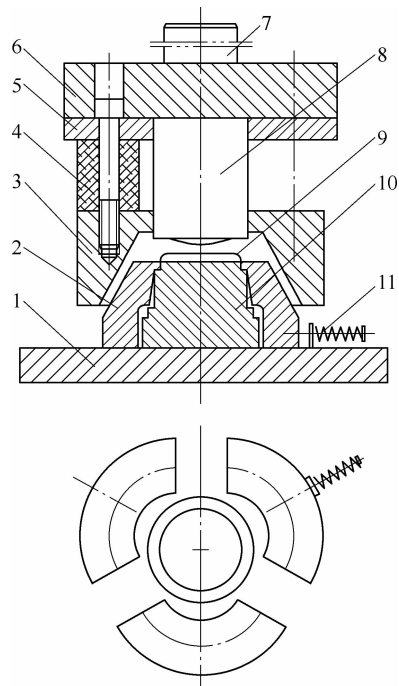


图 10-11 茶叶滤网密封位成形模

- 1—下模座 2—分辨式凹模 3—锥形套 4—橡胶块
5—凸模固定板 6—上模座 7—模柄 8—凸模
9—工件 10—芯柱 11—弹簧

锥形套 3 吊装在上模座 6 上，由凸模 8 导向，橡胶块 4 向锥形套 3 提供预紧力。工件 9 套在芯柱 10 上。上模下行，分辨式凹模 2 在锥形套 3 的作用下箍紧工件 9 的颈部。上模继续下行，此时弹性橡胶块 4 起作用，锥形套 3 已运行到位不再下行。球顶凸模 8 压向工件底平面，对工件进行轴向压缩，多余的材料流向离心方向形成凸缘。压力机滑枕上行，分辨式凹模 2 在弹簧 11 的作用下复位，中心型腔扩大，取出工件。

调整坯件的顶部高度，可以控制凸缘宽度。调整压力机滑枕下行距离，可以控制凸缘厚度。球顶半径 R 一般取工件直径 D 的 $1.5 \sim 2$ 倍。

4. 连体空心封头铆钉铆接（易拉罐盖拉环）

连体空心封头铆钉铆接工艺具有省料、省工、定位准确的优点，用于一次性消费的

金属用品上（易拉罐、听装油漆罐）优势十分明显。空心封头铆钉并非另置，而是在罐盖上先拉出凸包，再拉成空心柱状的。

图 10-12 所示为连体空心封头铆钉成形与铆接工艺流程。

在铆接作业时，模具不平整或工件放置不当，导致铆钉上平面与凸模轴线不垂直。当采用平头凸模时，可能会产生铆钉偏头，铆接环带厚薄不均匀的现象。将平头凸模改为球面凸模，加上压料圈就可以消除以上缺陷。球面 R 取铆钉直径的 8 倍，弧心角一般不大于 20° 。

5. 外观 R 角半径小于料厚的冲压成形（手表带扣）

图 10-13 所示为手表带扣，材质为 304 不锈钢，料厚为 1.2mm，要求外观 $R \leq 0.5\text{mm}$ 。在同一个冲次中，不但要完成企边弯曲，还要完成搭扣位挤压成形。

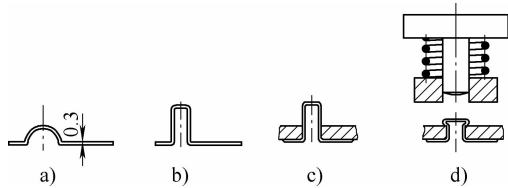


图 10-12 空心封头铆钉成形与铆接
a) 冲凸 b) 拉深 c) 连接 d) 铆接



图 10-13 手表带扣

图 10-14 所示为其成形模。凸模 9 设计成活动式，其顶端曲面与工件仿形。在活动凸模两侧各镶贴一片插耳 10。插耳 10 的厚度取与料厚一致，端面仿形。其基部顶在经热处理过的凸模导板 4 上。

在下模型腔中安置有活动顶底 2。活动顶底采用高速工具钢制作，并经热处理，表面硬度达 $54 \sim 56\text{HRC}$ ；其凹面由电火花仿形蚀刻成与工件匹配的型面，包括搭扣位的凹进。

展开料呈菱形，在前道工序已经过落料。坯料放在框形定位 11 内，上模下行时，在橡胶弹性体 8 的作用下，凸模 9 将坯料压入凹模 1 内进行弯曲；当顶底 2 与下模座 12 接触后不再下行，凸模 9 对坯料实行镦挤；上模克服强力橡胶 8 的弹力，连同两侧插耳 10 下行，对已弯折的企边加压，令外观面圆角半径减小。压力机滑枕上升时，凸模 9 复位；顶底 2 受到来自弹顶机构 13 的作用力，将工件顶出凹模。

为了增加强度，插耳 10 在俯视面上的轮

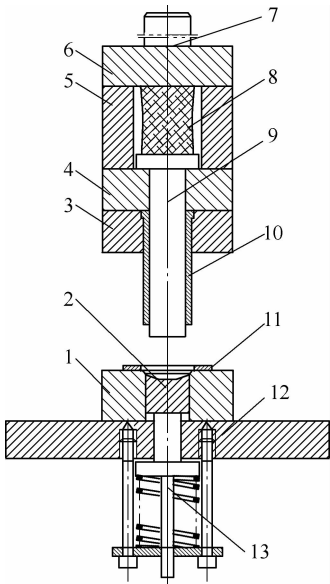


图 10-14 手表皮带扣成形模
1—凹模 2—顶底 3—插耳导板 4—凸模导板
5—容腔 6—上模座 7—模柄 8—橡胶弹性体
9—凸模 10—插耳 11—坯料定位 12—下模座 13—弹顶装置

廓一般宜做成中凸或弧形,如图10-15所示。

6. 高压锅盖扣边成形模

图10-16所示为不锈钢高压锅盖扣边成形模。

模具由两级活动滑块组成,才能方便地将成形后的工件从凹模上取下。活动凹模导轨17套装在锥台体座2上,由导向圆柱销19防止其转动。活动凹模7的锥面与锥台体16配合,并通过竖销5、复位弹簧4做伸出与回缩动作。自由状态下,复位弹簧保证其处于最小外径尺寸状态。上模下行时,压料板12在强力橡胶10的作用下首先接触工件15,活动凹模导轨17在导向圆柱销19的作用下垂直向下运行,当强力弹簧3的弹力被克服,活动凸模导轨21下平面与锥台体座2的台阶贴合时,活动凹模导轨17内的活动凹模7已经在锥台体16的作用下向外伸出。上模继续下行,弹力橡胶10被压缩,锥套14迫使活动凸模18做向心运动,将工件15推挤出扣边。

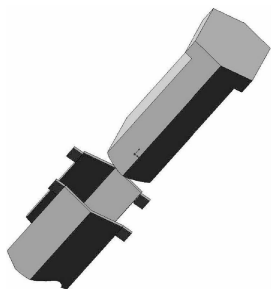


图10-15 凸模与插耳

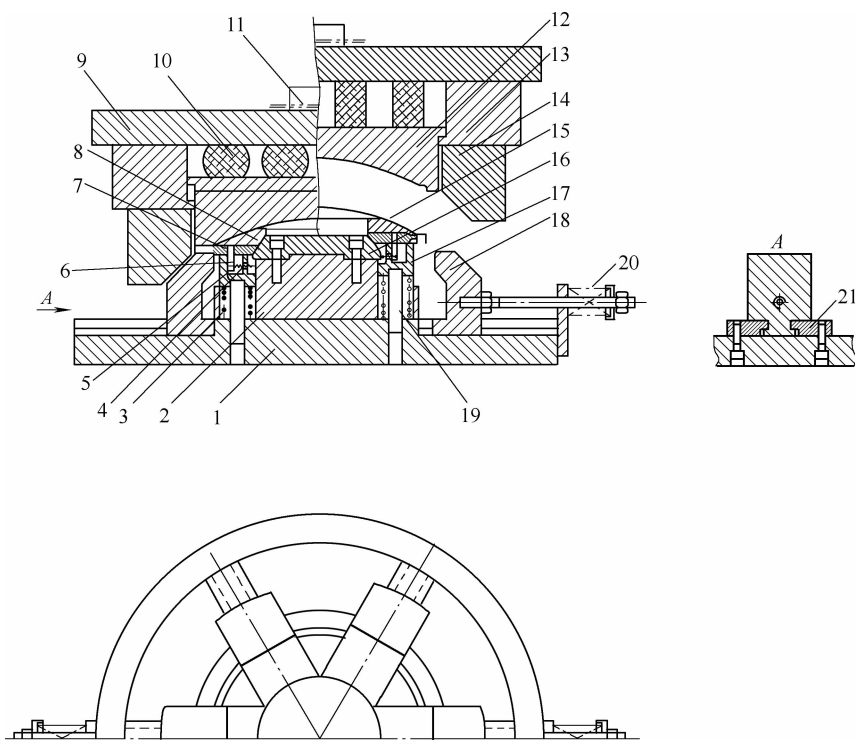


图10-16 高压锅盖扣边成形模

- 1—下模座 2—锥台体座 3—强力弹簧 4—复位弹簧 5—竖销 6—横销 7—活动凹模
8—仿形承料板 9—上模座 10—弹力橡胶 11—模柄 12—压料板 13—锥套座 14—锥套
15—工件 16—锥台体 17—活动凹模导轨 18—活动凸模 19—圆柱销
20—弹顶复位装置 21—活动凸模导轨

上模上行时，压力解除，强力弹簧 3 将活动凹模导轨 17 顶起，活动凹模 7 在复位弹簧 4 的作用下缩回。活动凸模 18 在弹顶复位装置 20 的作用下沿活动凸模导轨 21 向外运动。至此，工件 15 内外的羁绊全部解除，取出工件，进入下一工作循环。

这一工作原理也适用于广口玻璃瓶金属螺旋盖扣边位的制作。

7. 壶嘴整形模

图 10-17 所示为肘节式壶嘴整形模，它具有装夹迅速、出料方便的特点，适合于对内焊式壶嘴进行冲压整形。

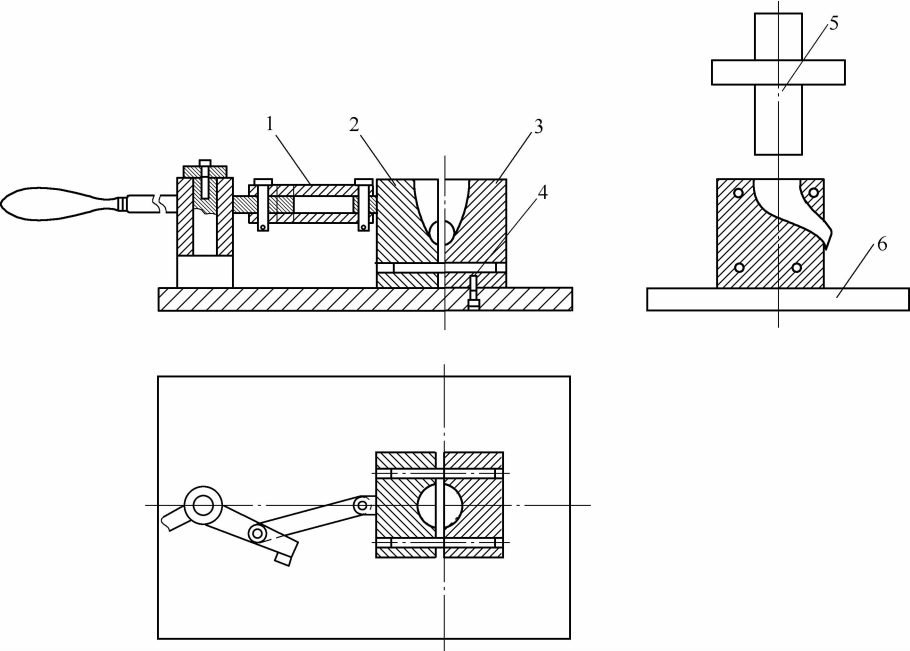


图 10-17 肘节式壶嘴整形模

1—肘节式夹具 2—活动凹模 3—固定凹模 4—圆柱销 5—凸模 6—下模座

内焊（不加料氩弧焊）壶嘴对于壶嘴基部的轮廓尺寸比敷料式焊接的要求高得多，要求与壶体冲孔尺寸最少有 85% 的吻合，最大掉缝不能大于 0.06mm。所以，如果采用内焊式方法，焊接前必须对壶嘴大端进行整形。

左右两半凹模同处于模座平面上，右凹模（固定凹模）3 与下模座固定，左凹模（活动凹模）2 则可以由肘节机构手柄予以拖动，其运动精度由圆柱销 4 来保证。肘节式夹具的优点是，夹具的一半是固定的，手柄到位后不但可以获得倍增的压力，同时夹具的活动边还会被挣紧。

8. 铆接型壶嘴成形工艺

圆锥形壶嘴坯件可以用拉深和扇形料卷制两种途径得到。而在铆接前，需要在壶嘴基部加工环槽。在环槽拉制过程中，卷制件因为焊缝的原因，破损率要比拉深件大得多。图 10-18 所示为拉深壶嘴成形过程。

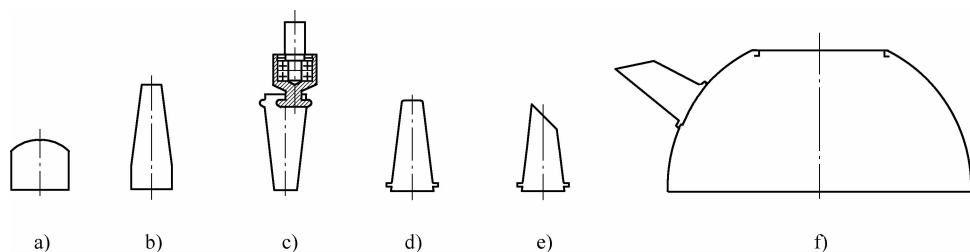


图 10-18 锥型壶嘴成形工艺

a) 首道拉深 b) 二道拉深 c) 环槽滚压 d) 环座压型 e) 切头 f) 铆接

加工壶嘴环座的方式有两种，一是采用橡胶弹性体胀形法，二是如图 10-19 所示的滚压法。橡胶弹性体胀形法受到材料厚度与最小槽宽比例的限制，并且脱料困难，效率较低，现在逐渐被滚轮拉制法代替。

图 10-19 所示为滚压模在圆盘机上的安装，适合于基部呈圆形的鹤嘴型壶嘴环座的滚压加工。凹模分成一动一静两半，采用圆柱销做运动导向，左视如图 10-20 所示。

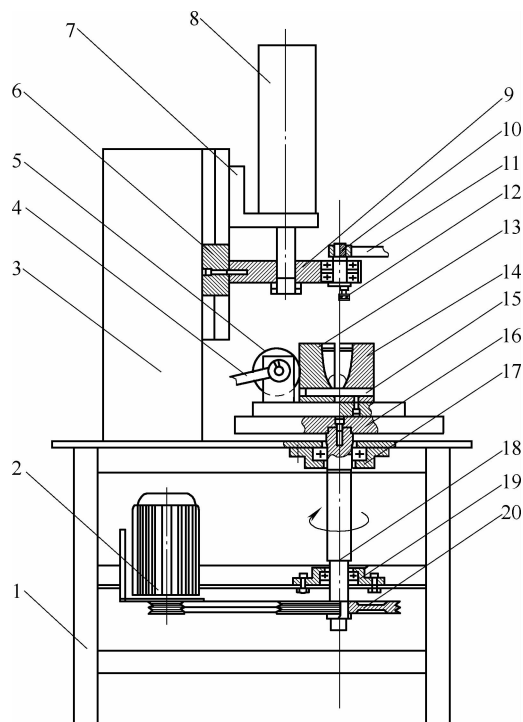


图 10-19 铆接型壶嘴环槽滚压成形

1—机架 2—电动机 3—支座 4、11—手柄 5—凸轮 6—导轨 7—气缸座 8—气缸
9—滚轮座 10—偏心轴、轴承 12—滚轮 13—活动凹模 14—固定凹模 15—圆柱销
16—旋转工作台 17—上轴承座 18—主轴 19—下轴承盒 20—带轮

偏心轴 10 的中线与立轴中线偏置。坯件装入固定凹模 14 后，转动手柄 4，凸轮 5 挤压活动凹模 13 将工件夹紧。起动圆盘机，滚轮座受到气缸的推力下行。缓慢转动手柄 11，滚轮 12 对工件施加压力，沟槽被逐步成形。工件成形后，转动手柄 11，滚轮 12 回到中心位置，上模上行，退出凹模，松开夹具，取出工件，进入下一循环。

夹具设计应以可靠、快速为主，在此前提下，优选最轻便的装夹方式。除了上述的凸轮式夹具外，还有螺旋式和肘节式夹具可供选择。在采用肘节式夹具时，要注意手柄的活动方向，避免离心力带来负面影响。还要充分注意到主轴转动后的动平衡，如果轴线两侧质量相差太大，可在少的一侧加装配重块。

9. 水壶提耳成形模

水壶提耳（见图 10-21）成形模的工作原理是，压料板先行压住坯料，然后凸模开始动作，对工件成形。这样的好处是在成形过程中，坯料已被压住，不会发生漂移、走位现象。其模具如图 10-22 所示。

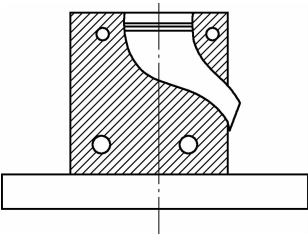


图 10-20 鹤嘴型壶嘴环槽
滚压成形模（左视）

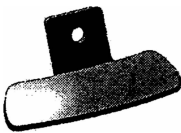


图 10-21 水壶提耳

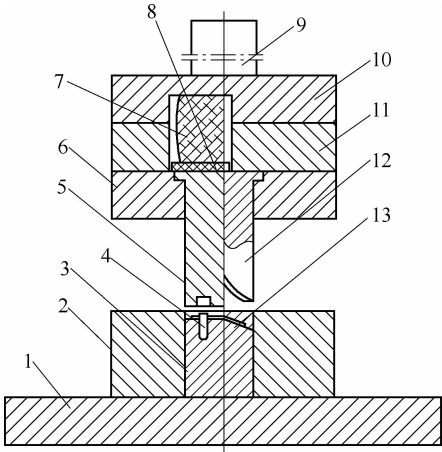


图 10-22 水壶提耳成形模

- 1—下模座 2—凹模框 3—凹模 4—定位销 5—压料块
6—凸模固定板 7—橡胶弹性体 8—橡胶垫板 9—模柄
10—上模座 11—橡胶容腔 12—凸模 13—工件

以坯片上现有的孔定位，上模下行时，压料块 5 首先将坯料压住，上模继续下行，克服橡胶弹性体 7 弹力，压料块逐渐缩入容腔板 11 内，凸模 12 开始对坯件成形直至行程终止。上模回程，取出工件，开始下一工作循环。

10. 简易成形模

简易成形模加工方便，不需要大型精密机床切削加工，可以收到快捷、省工省料的效果。

火盆腿零件材质为 08F 冷轧板，长为 580mm，最大边宽为 90mm，最小边宽为 60mm，料厚为 2mm，批量为 6000 件，产品弯曲精度为 $\pm 1.5\text{mm}$ ，交货期限从接受图样起共计 5 天。

针对上述条件,设计了如图10-23所示的简易模具。其中成形位板厚取工件料厚的5倍计10mm,其屈服强度处于手工锤击变形厚度范围之内。上下肋板厚为16mm。备料齐长,按照所处位置线切割一分为二,并做好标记。

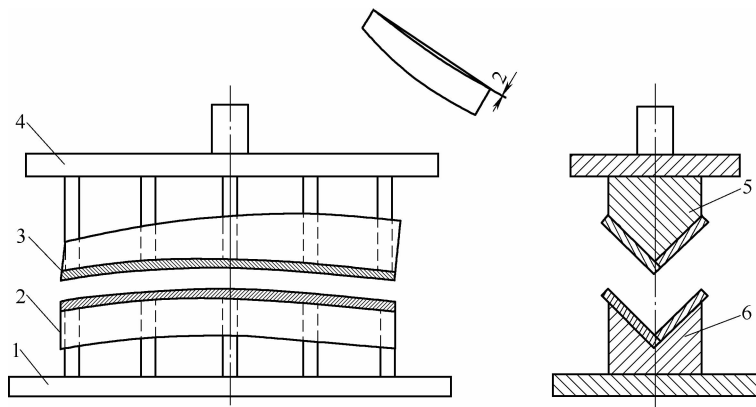


图10-23 火盆腿简易成形模

1—下模座 2—下模 3—上模 4—上模座 5—上肋板 6—下肋板

该模具最后组装是在压力机上进行的。上、下模对位后再行焊接,加固与冷却一并在受压状态下操作,以防变形。实践证明,这种简易模具与整块材料数控加工的成形模在寿命方面并无区别。

11. 脚轮支架成形模

手推车脚轮支架(见图10-24)成形模,如图10-25所示,在一个冲次中除了要对主体部分进行折弯外,还要完成两侧壁的曲面成形和圆角部分成形。

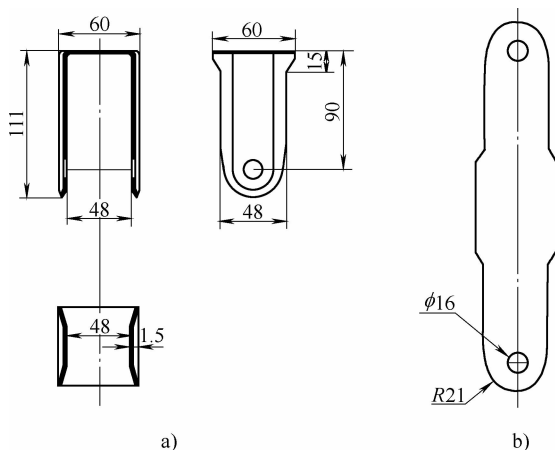


图10-24 手推车脚轮支架

a) 三视图 b) 展开料

顶料板 3 的运用, 不仅在于将成形后的工件 7 推出凹模, 而且在弯曲之初, 即向坯料预加反作用力, 对于工件顶部的平直有决定性的作用。背板 9 的作用在于给予凹模 8 支持, 起到稳定凹模的作用。

该模具最好安装在液压机上运行, 因为上模向下行程的最后阶段是端部 R 成形的时段, 若在此时给予保压延时, 则产出的工件质量更有保障。工件 7 成形后, 在顶料板 3 的作用下工件随凸模 6 上升, 此时被压入凸模内的退料销 4 在弹簧 5 作用下伸出将工件 7 从凸模 6 上推下, 如图 10-25 所示。

12. 装饰带水平等份压印机构

这里所说的装饰带是指用于自动泡茶壶酚醛塑料座的不锈钢带, 用于掩盖上盖与下座的合缝处而设计的。其材料厚度为 0.40mm, 宽为 13mm, 长度为 816mm。显然, 在这么长的料带上设计整体压印模是不合算的。为此设计了移动式的多等份压印模, 如图 10-26 所示。

框架平置在支架滚轮上, 其一侧底面镶嵌有齿条。小齿轮通过齿条对框架进行驱动。小齿轮与手轮之间增设了一对减速齿轮; 根据压印模的步距来选择减速齿轮的模数和传动比, 可以将每次移动时手柄的转动角度控制为 360°或 180°的整数倍, 既方便员工操作, 又减少了出现废品的概率。坯件在压印前已通过分条、切断、弯钩。操作时, 将坯件两端分别挂在左右挂钩上, 摇动手柄, 从料带的一端开始压印, 每冲压一次, 工作台移动一定距离, 直至整条料带冲完为止。

13. 筒形件圆周分度半自动凸点成形模

图 10-27 所示为圆周多等分半自动凸点冲压成形模, 目前主要用于杯类产品外观装饰的加工中。该设计具有定位准确, 工作效率高的特点, 假如安装在闭合高度较大的压力机上, 这种结构的工作原理有更大的拓展空间, 如用于钢圈类产品的冲孔作业等。

该模具由分度机构、弹簧夹紧机构和工作部分组成。

(1) 分度机构 分度机构由棘轮 18、提动爪 20、定位弹簧 16、定位棘爪 17、小弹簧 19、反向弹簧 21 等零件组成。棘轮齿数根据产品设计需要而定。理论上, 棘轮齿数可设计为 4 以上的任何数。棘齿工作面的连线应通过圆心。

提动爪由压力机滑枕提供动力。滑枕下行时, 附着在滑枕上的提动杆 12 同时下行。提动爪的斜面与棘轮接触, 提动爪绕小销轴旋转一定角度, 当提动爪前端避过棘轮齿

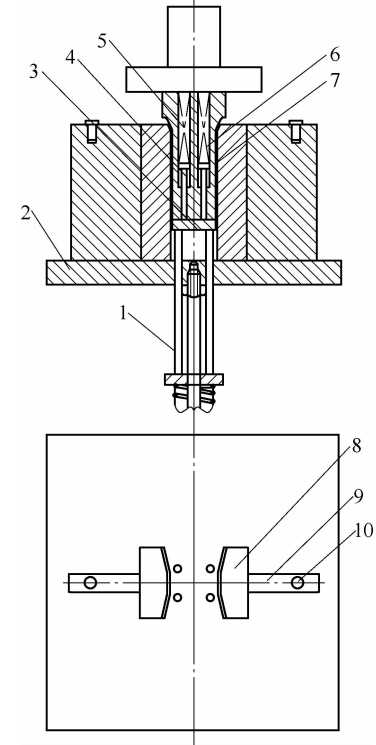


图 10-25 手推车脚轮支架成形模

- 1—弹顶机构 2—下模座 3—顶料板
4—退料销 5—弹簧 6—凸模 7—工件
8—凹模 9—背板 10—定位钉

时,后端的复位弹簧立刻将提动爪拉至水平位置与棘爪面扣合。滑枕上行时,棘轮 18 转动一定角度,由定位棘爪 17 定位。片形反向弹簧 21 向棘轮 18 提供反向推力,使其定位精确。

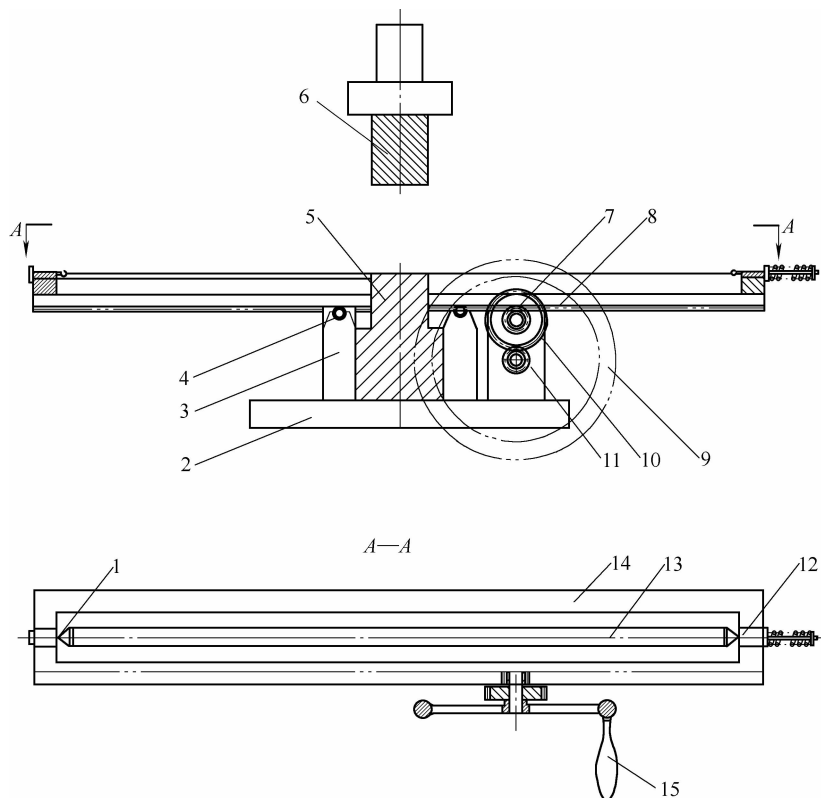


图 10-26 装饰带水平等份压型模

1—固定挂钩 2—底座 3—支架 4—滚轮 5—下砧模 6—上砧模 7—小齿轮 8—齿条 9—手轮
10—大齿轮 11—手轮齿轮 12—活动挂钩 13—工件(装饰带) 14—框架 15—手柄

棘轮用平键和螺母与锥套连接。棘轮材料采用 45 中碳钢经调质预处理,齿部二次淬硬回火至硬度为 42~46HRC。也可采用 40Cr 钢渗碳,热处理最终硬度与 45 钢相同。

(2) 弹簧夹紧机构 弹簧夹紧机构由滑块 23、锥套 24、胀塞式弹簧套 26、大弹簧 27、传力杆 30、传力板 31、拨叉 32 和连杆 1、手柄 2 等组成。胀塞式弹簧套 26 的轴向移动距离不会很大,所以夹紧角应取在钢材自锁角度以上,一般取 15° 。

弹簧套前半部割槽,槽数取偶数,以方便线切割加工。一般在 4 槽以上,多少根据工件大小来决定。弹簧套割槽长度与壁厚等参数及制作工艺请参看 6.7.1 节。

在杯壳冲压加工中,杯壳的尾部在夹具中起到了胀塞的作用。向前扳动手柄 2,拨叉 32 克服大弹簧 27 的弹力,弹簧套向操作者方向运动,脱离锥套,口部张开,此时将杯壳尾部塞入弹簧套,松放手柄,弹簧套在大弹簧 27 和锥套的作用下合拢,夹住工件

7。当一个冲次完成后，锥套受到来自提动钩的推力产生旋转，坯件连同弹簧套一起旋转。

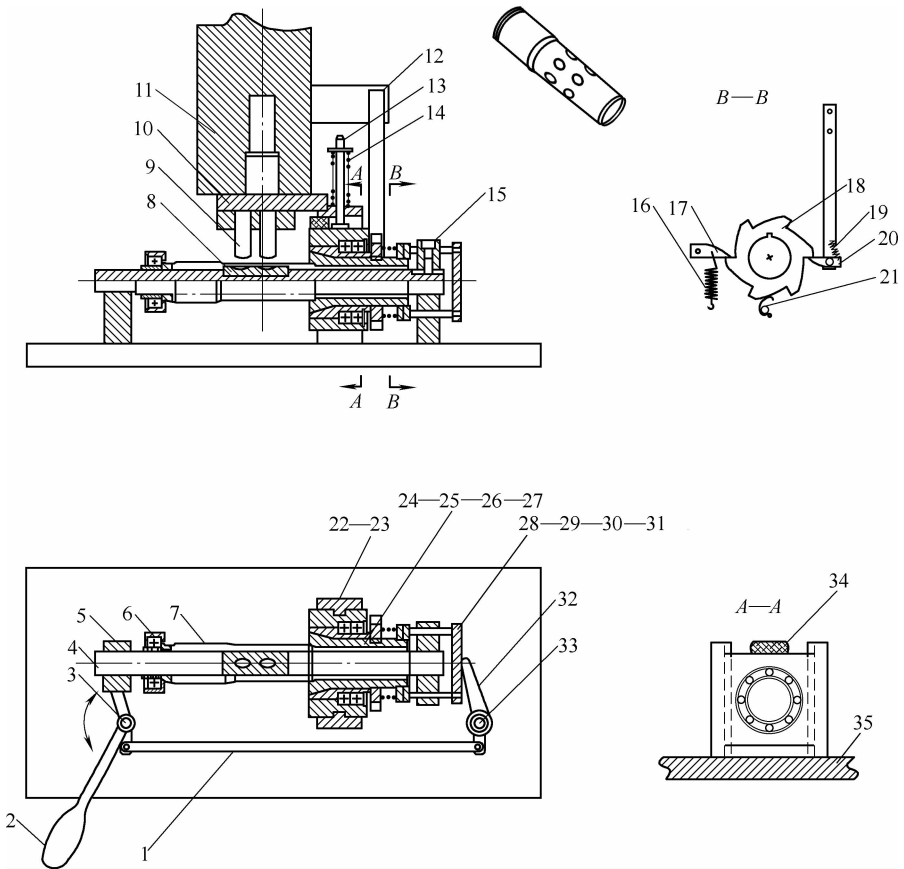


图 10-27 圆周多等份自动冲压成形模

- 1—连杆 2—手柄 3—前转轴 4—轴式凹模座 5—前支座 6—轴承套 7—工件 8—凹模 9—凸模
10—上模座 11—压力机滑枕 12—提动杆 13—回位弹簧座 14—回位弹簧 15—紧定螺钉 16—定位弹簧 17—定位棘爪 18—棘轮 19—小弹簧 20—提动爪 21—片形反向弹簧 22—门形导轨
23—滑块 24—锥套 25—轴承 26—胀塞式弹簧套 27—大弹簧 28—绷紧螺母 29—后支座
30—传力杆 31—传力板 32—拨叉 33—拨叉转轴 34—橡胶弹性体减震块 35—底座

(3) 工作部分 工作部分包括上模座 10、凸模 9、凹模 8、轴式凹模座 4、门形导轨 22、回位弹簧 14 和滑块 23 等零件。门形导轨 22 和滑块 23 保证了坯件的运行精度，并为分度机构提供基座。

轴式凹模座 4 是架在前支座和后支座上的，后端用紧定螺钉 15 固定。轴式凹模座的外径与坯筒内径留有 4~6mm 的间隙。这个间隙是为工件从凹模上脱出预留的。当一个冲次完成后，坯件需要从凹模上脱出并旋转一定角度，为下一冲次做好准备。为此设计了回位弹簧 14。调整回位弹簧座 13 上的螺母，可以调节脱料力的大小。

轴承套6与杯壳尾部的配合不宜过紧,一般应有0.2~0.3mm的间隙。

上模下行时,作为辅助动力,滑块23顶端安置有橡胶弹性体减震块34,由上模座10提供动力,将整个分度机构先行压至坯件与凹模工作面贴合,以保证受力平衡。

这套模具的另一大特点是半自动程度较高。多等分成形在加工中可以连冲。当一个工件冲制完成后,向前扳动手柄,弹簧套松开的同时,前支座5也离开原位置,此时取下轴承套6和工件,换入新工件,进入下一工作循环。

14. 弯头成形模

薄板件不锈钢弯头一般不作流体输送用,绝大多数用于建筑装潢中的楼梯扶手、门把转弯处的衔接。弯头制作的工艺路线:落料→平板料预弯→本体预弯→成形→焊接→端面车平→抛光。

(1) 落料 根据弯头尺寸按照钣金下料的计算方法作图,试制时可手工剪切下料或线切割下料。因其在弯曲过程中伴有拉深现象,所以按照钣金下料的样片会有部分材料富余。经试冲后再对试样进行多次修正,直至冲压出满意的产品再依据最后的轮廓线开落料模。

(2) 平板料预弯 本体预弯后的U形件会产生一定角度的回弹,这将导致预弯件不能顺利进入上凹模,因此在本体预弯前对平板料两侧进行预弯有利于提高正品率。

(3) 本体预弯 弯头预弯模如图10-28所示。

1) 凹模制作。在专业工厂,凹模型腔是用纯铜电极经电蚀加工的方法获得的。为了节约成本,可先车制一件凸模,采用钢打钢的方法在电火花机床上对凹模进行蚀除加工。

凹模热处理硬度为52~56HRC;圆角部分要求抛光到 $Ra0.2\mu\text{m}$ 以下,凹模深处的表面粗糙度可以稍高一些,仅到 $Ra0.8\mu\text{m}$ 以下即可。

2) 凸模制作。凸模在未分离前是作为一个整体圆环来加工,经热处理后再行分割的。凸模制作工艺路线:粗车→热处理→精车→分割→线切割榫位→焊接→装凸模座。

3) 组装。凸模组装时将上模座、凸模与榫位和料坯一起压装在凹模中焊接,这样做能够更直观地掌握组合后的垂直度等工艺参数。此时须注意凹模的保护工作,不能让焊渣、溶液滴入凹模。无论凸模还是凹模,均要求其弧心角大于成品 $10^\circ\sim15^\circ$ 。

(4) 成形。在成形模中,上凹模的工作条件比下凹模要严酷得多,因为在这种无芯成形的作业中,弯头内圆部分的成形全靠上凹模的型腔来强制材料在弯曲过程中形成曲面。所以上模无论从材质要求还是热处理硬度和表面粗糙度都比下模要求高。上凹模材料一般要求采用Cr12MV,并经两次回火,达到晶格细密、提高硬度的目的。成形过程中,上凹模整个型腔都处在工作状态下,因此全部曲面粗糙度都要求抛光到

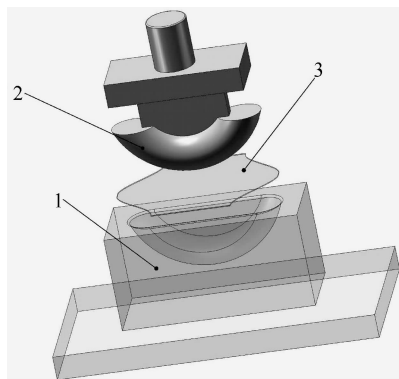


图 10-28 弯头预弯模

1—凹模 2—凸模 3—坯料

$Ra0.1\mu m$ 以下，如图 10-29 所示。

成形后的工件，端面不平整，需专用夹具夹持，在车床上切削或在钻床上采用飞刀平口。

15. 壶嘴成形工艺

壶嘴款式多种多样，这里介绍难度较大、有代表性的鹤颈形壶嘴，如图 10-30 所示。

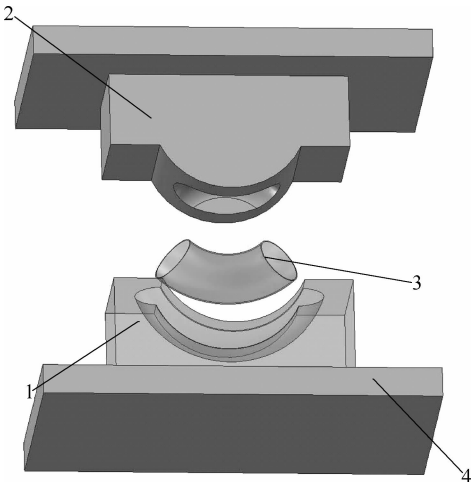


图 10-29 弯头成形模

1—下凹模 2—上凹模 3—工件 4—下模座



图 10-30 鹤颈型壶嘴

鹤颈形壶嘴成形模的上、下凹模均要求采用纯铜电极电火花加工。与弯头成形模相比，在铜极制作阶段，手工作业更多，更精细。

电极制作步骤；备料（确定纯铜板厚度）→以主视图轮廓线为依据线切割→锉修与打磨圆角。

完工后的电极与成品壶嘴在外观上除前端外，其余部分完全一致。

电极完工后，其余零部件的加工顺序与操作方法与弯头基本一致，不同之处如下：

- 1) 模型样条曲线的中点为圆心旋转，使其最高点处在同一水平面内。
- 2) 本体预弯模的分模线高于模型中径线。
- 3) 成形模分模线低于模型中径线。
- 4) 基部非圆形的鹤颈型壶嘴与壶体一般采用加料氩弧焊，成形后的工件端面不再加工。

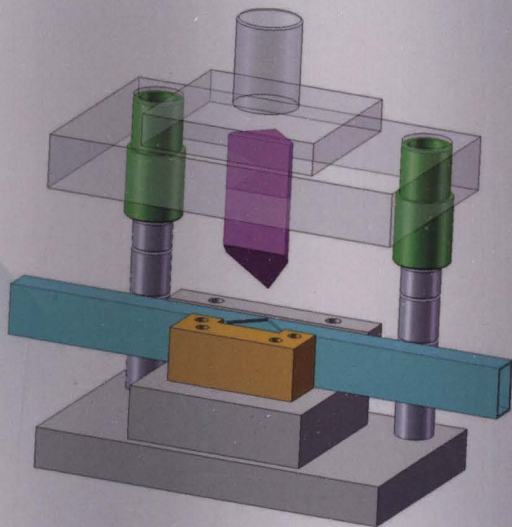
参 考 文 献

- [1] 冲模设计手册编写组. 冲模设计手册 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2003.
- [2] 张钧. 冷冲压模具设计与制造 [M]. 西安: 西北工业大学出版社, 1993.
- [3] 洪慎章. 实用冲压工艺 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2009.
- [4] 王孝培. 冲压手册 [M]. 2 版. 北京: 机械工业出版社, 1990.
- [5] 彭建声. 冷冲压技术问答 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1988.
- [6] 张光荣, 莫虎. 冲压工艺与模具设计 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2009.
- [7] 夏巨湛. 钣金工操作技能手册 [M]. 北京: 金盾出版社, 2007.
- [8] 成大先. 机械设计手册 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2002.

◎本书从实际运用的角度出发,深入浅出地介绍了冲压成形及其模具设计技术。

◎本书按照冲压工艺的作业顺序编写,结构体系合理,书中列举的各种方法,都经过作者本人亲自实践,具有极强的实用性、技术先进性、使用可靠性和简单易学的特点。

◎在冲裁与剪切、弯曲两章中,包含了当前应用量较大的管材加工的相关技术内容;在拉深一章中,将拉深槛与拉深肋单列为一小节,详细讲解了两者的不同特点和应用条件;翻边、胀形、缩口与扩口、卷边、辗压、成形等内容,则是从过去相关技术图书的成形一章中分列出来,进行了详细的分析与探讨。



地址:北京市百万庄大街22号
邮政编码:100037

电话服务

服务咨询热线:010-88361066

读者购书热线:010-68326294

010-88379203

网络服务

机工官网:www.cmpbook.com

机工官博:weibo.com/cmp1952

金书网:www.golden-book.com

教育服务网:www.cmpedu.com

封面无防伪标均为盗版



机械工业出版社微信公众号



机械工业出版社科普平台
科技有的聊



机械工业出版社制造业资讯
制造业那些事儿

上架指导 工业技术 / 机械工程 / 冲压、模具

ISBN 978-7-111-50734-5

策划编辑◎陈保华 / 封面设计◎马精明

ISBN 978-7-111-50734-5



9 787111 507345 >

定价: 46.00元