

# 模具型腔挤压成形技术

任广升 胡亚民 付传锋 编著



机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS



# 模具型腔挤压成形技术

任广升 胡亚民 付传锋 编著

机械工业出版社

采用挤压成形模具型腔工艺制造模具,不但可以大大节省贵重的合金钢材,提高劳动生产率,而且能大幅度地改善模具质量,提高模具寿命。本书对挤压成形模具型腔的塑性变形规律、模具设计、模具寿命和工艺方法进行了较为系统的归纳和总结,书中不仅介绍了一般的冷挤压成形模具型腔,还介绍了温挤压、热挤压、超塑性挤压和其他特种成形挤压模具型腔工艺。

本书除了满足机械制造行业和锻压行业的科技人员使用外,还可供玻璃模、橡胶模、塑料模、陶瓷模、地砖模、鞋模等行业的模具设计、研究和制造的科技人员使用,也可供高等院校的有关专业师生参考。

## 图书在版编目(CIP)数据

模具型腔挤压成形技术/任广升,胡亚民,付传锋编著. —北京:机械工业出版社,2008.12

ISBN 978-7-111-25857-5

I. 模… II. ①任…②胡…③付… III. 塑料模具-塑料成型-挤压  
IV. TQ320.66

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第203799号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码)

策划编辑:孔劲 责任编辑:孔劲 高依楠 版式设计:霍永明

责任校对:申春香 封面设计:陈沛 责任印制:杨曦

保定市中国画美凯印刷有限公司印刷

2009年3月第1版第1次印刷

169mm×239mm·14.25印张·272千字

0 001—3 000册

标准书号:ISBN 978-7-111-25857-5

定价:32.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

销售服务热线电话:(010)68326294

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

编辑热线电话:(010)88379772

封面无防伪标均为盗版

## 前 言

人们对金属制品的近似净形或净形加工，即以前所说的少、无切削加工并不陌生，很早就认识到利用成形的方法代替金属切削加工，可以获得精密毛坯，节材节能，提高产品及模具的使用性能，减少机加工工时，大大提高劳动生产率，降低成本。然而，由于种种原因，例如产品生产批量不大，需要大型锻压设备，模具寿命要达到一定的经济指标等原因，使该工艺技术的发展势头不是十分理想。

在 20 世纪 50 年代，前苏联应用挤压的方法制造凹模型腔，凹模材料多为低碳钢和低合金钢。俄罗斯、拉脱维亚、爱沙尼亚等国对采用塑性成形的方法成形模具型腔进行了较为系统的理论研究和生产实践，创造了更完善的冷挤压、温挤压方法，从而进一步降低了凹模型腔的制造工时，提高了凹模型腔的使用寿命、机械强度，改善了模具型腔表面粗糙度，也使挤压型腔的几何轮廓尺寸有所扩大，甚至能挤压一些难变形的高强度钢种，例如挤压成形高碳、高合金钢和高速钢模具型腔。

我国上海、天津、西安等地不少工厂，应用冷挤压工艺挤压塑料模、胶木模、锻模等压模型腔，成功研制了多工位冷锻机上挤压模、锻粗模、切边模的冲头，以及压力机和锤用锻模镶块等的塑性变形工艺。挤压型腔面积高达  $5000\text{mm}^2$ 。早在 1965 年，国内就研制出了专门用于冷挤压模具型腔的 8MN 专用油压机，1976 年研制出了 50MN 模具型腔冷挤压专用油压机。

据有关资料介绍，采用挤压成形工艺制造的凹模型腔和冲头的寿命可提高 1.5~3.0 倍，型腔几何尺寸精度可达 7 级或 7 级以上，表面粗糙度  $R_a$  为  $0.05 \sim 0.1\mu\text{m}$ 。

现在，人们还可以对模具型腔的挤压成形过程进行自动化设计，并且通过优化搜索，在较短的时间内，寻找出最佳的精密成形方案，例如：如何减少变形力，使金属容易流动；如何在母冲头、母凹模以及挤压模坯（凹模或冲头坯）上开设减荷穴，选择有效的润滑材料和合理的涂覆润滑材料等；还能正确选择挤压设备和挤压方法，正确进行母冲头和母凹模的结构设计，确定模坯尺寸和形状等。

作者在国内外模具专家、锻压专家和技术人员多年研究和生产实践的基础上，结合自己的科研成果和产品开发经验，对挤压成形模具型腔的塑性变形规律和工艺方法进行了归纳和总结，编写成本书，以便易于为广大专业工作者了解、

接受、熟悉、应用，能对模具型腔的挤压成形工艺的普及推广起推动作用。

本书的第一章、第二章、第十章、第十一章由任广升编写，第三章、第四章、第五章、第六章由胡亚民编写，第七章、第八章、第九章及附录由付传锋编写，全书由任广升统一校编。书中介绍了冷挤压、温挤压、热挤压、超塑性挤压和其他特种挤压模具型腔工艺。各个企业可以根据本单位的具体情况，考虑选用其中某一种工艺技术，挤压成形各种成形模具的冲头和凹模型腔。希望本书能对我国国民经济的发展贡献微薄之力。

作者

# 目 录

## 前言

<b>第 1 章 模具型腔挤压成形的工艺技术特征</b> .....	1
1.1 模具型腔挤压成形的一般技术特征 .....	1
1.2 模具型腔挤压成形工艺技术的分类 .....	3
1.3 模具型腔的挤压成形工艺技术 .....	7
<b>第 2 章 模具型腔挤压的变形特征和力学特征</b> .....	10
2.1 模具型腔挤压的变形特征 .....	10
2.1.1 研究金属变形及应力分布的主要方法 .....	10
2.1.2 正挤压实心件的金属流动 .....	13
2.1.3 反挤压时的金属流动 .....	16
2.1.4 模具型腔的轴向挤压成形 .....	18
2.1.5 模具型腔的通孔挤压成形 .....	19
2.1.6 模具型腔的压缩挤压成形 .....	20
2.2 模具型腔挤压的力学特征 .....	21
2.2.1 挤压的附加应力与残余应力 .....	21
2.2.2 挤压的外摩擦 .....	24
2.2.3 冷挤压对金属力学性能的影响 .....	24
2.2.4 母冲头形状对于挤压力的影响 .....	26
2.2.5 不同挤压工艺的影响 .....	27
2.2.6 压力的计算公式 .....	28
2.2.7 通孔挤压时的力学特征 .....	29
2.2.8 压缩挤压时的力学特征 .....	30
2.3 挤压力的分析计算 .....	31
2.3.1 影响挤压力的工艺因素 .....	31
2.3.2 轴向挤压和通孔挤压的应力 - 应变状态 .....	33
2.3.3 压缩挤压力的计算 .....	34
<b>第 3 章 模具型腔的冷轴向挤压</b> .....	38
3.1 冷轴向挤压工艺过程 .....	38
3.2 模坯的合理设计 .....	40

3.3 冷挤压用母冲头	45
3.3.1 母冲头的工作部分	45
3.3.2 母冲头的支承部分	48
3.3.3 组合型母冲头	50
3.3.4 母冲头材料和热处理	50
3.4 冷挤压模具型腔的母凹模	51
3.4.1 通用母凹模的结构	52
3.4.2 通用母凹模的其他形式	54
3.4.3 通用母凹模的规格尺寸及选材	55
3.5 母冲头的脱模	56
3.6 多凹模型腔和大型凹模型腔的轴向挤压	57
3.6.1 单凹模型腔的对向挤压	57
3.6.2 双面挤压成形	57
3.6.3 多冲头同时挤压成形	58
3.6.4 多型腔凹模挤压成形	58
3.6.5 不对称型腔的挤压成形	58
3.6.6 大型模具型腔的挤压成形	60
3.7 手工工具模具型腔等的冷挤压成形	62
3.8 T形螺栓冷镦模型腔的冷挤压成形	66
3.9 打字冲头字体凸花的冷挤压成形	68
3.10 棱形网格面板模具型腔的分级多次冷挤压成形	70
<b>第4章 模具型腔的通孔挤压</b>	<b>73</b>
4.1 带顶料孔复杂模具型腔的通孔挤压	73
4.1.1 直壁模具型腔的挤压成形	73
4.1.2 内螺纹型腔的通孔挤压成形	75
4.1.3 在板上成形异形孔的通孔挤压	79
4.1.4 带压环的通孔挤压	81
4.2 通孔型腔的径向压缩挤压	84
4.2.1 母凹模无阶梯型腔的径向压缩挤压	86
4.2.2 母凹模有阶梯型腔的径向压缩挤压	89
4.2.3 多边形型腔内的径向压缩挤压	90
4.2.4 带径向压缩的轴向挤压	91
4.2.5 带轴向压缩的径向挤压	92
4.2.6 用于径向压缩挤压的模坯	94

4.2.7 径向压缩挤压母模 .....	98
<b>第5章 模具型腔的热挤压</b> .....	104
5.1 模具型腔热挤压的一般概念 .....	104
5.2 热挤压力学规范和变形性能 .....	107
5.3 热挤压的原始模坯 .....	109
5.4 热挤压用的母冲头及润滑 .....	110
5.5 大型锻模型腔和胎模型腔的热挤压 .....	113
5.6 锤上热挤压 .....	116
5.7 摩擦压力机或螺旋压力机上的热挤压 .....	117
5.8 在曲柄压力机上热挤压双金属凹模型腔 .....	118
<b>第6章 模具型腔的温挤压</b> .....	119
6.1 温挤压技术 .....	119
6.2 温挤压的变形抗力与金属流动特征 .....	120
6.3 温挤压的强化机理与工艺因素 .....	121
6.3.1 温挤压的强化机理 .....	121
6.3.2 温挤压时的韧性与断裂 .....	122
6.3.3 温挤压的工艺因素 .....	123
6.4 温挤压成形工艺 .....	124
6.4.1 温挤压变形力的变化阶段 .....	124
6.4.2 影响温挤压变形力的因素 .....	125
6.5 温挤压成形件的品质 .....	126
6.5.1 温挤压成形件的尺寸精度 .....	126
6.5.2 温挤压成形件的表面粗糙度 .....	127
6.5.3 温挤压成形件的组织性能 .....	127
6.6 温挤压成形模具的设计及其材料 .....	128
6.6.1 温挤压成形模具的要求 .....	128
6.6.2 温挤压成形模具的结构 .....	128
6.6.3 温挤压母凹模设计 .....	129
6.6.4 温挤压母冲头设计 .....	129
6.6.5 模具材料组织对温挤压母冲头和母凹模性能的影响 .....	130
6.7 几种常用模具钢的温挤压成形性能 .....	132
6.7.1 模具钢的可成形性 .....	132
6.7.2 模具钢的等温成形 .....	136
6.8 温挤压成形模具型腔实例 .....	139



6.8.1	LD 钢十字槽精挤模	139
6.8.2	Cr12MoV 钢和 W6Mo5Cr4V2Al 钢螺栓切飞边凹模	140
<b>第 7 章 模具型腔的超塑性挤压</b>		143
7.1	金属和合金的超塑性	143
7.2	超塑性挤压成形模具型腔的工艺参数	144
7.2.1	LD 钢的超塑性	149
7.2.2	W6Mo5Cr4V2 钢的超塑性	149
7.3	H62 黄铜注塑模型腔的超塑性挤压	150
7.4	H13 钢锻模型腔的超塑性挤压	153
7.4.1	超塑性成形工艺装置	154
7.4.2	工艺参数的选择	155
7.4.3	超塑性制模的工艺流程	157
7.4.4	技术经济效果分析	158
7.5	5CrMnMo 钢精锻模型腔的超塑性成形	159
7.6	Cr12MoV 钢冲头和模具型腔的超塑性成形	163
7.6.1	M12 六方冷镦冲头的超塑性成形	163
7.6.2	DW8-35 多油断路器中的铜触指冷锻模型腔的超塑性成形	164
<b>第 8 章 获得精确模坯的特种成形工艺</b>		166
8.1	精确模坯的静液挤压与动液挤压	166
8.2	模具型腔的高速挤压	168
8.2.1	炮轰成形	169
8.2.2	高速锤挤压	171
<b>第 9 章 挤压成形时的润滑</b>		173
9.1	挤压润滑剂的一般性能	173
9.2	几种常用的润滑材料	173
9.2.1	石墨	173
9.2.2	二硫化钼	175
9.2.3	二硫化钨	176
9.2.4	玻璃粉	177
9.2.5	热挤压成形用的新型绿色润滑剂	178
9.3	一般润滑方法	179
9.4	母冲头工作部位的润滑	179
9.5	化学镀铜	179
9.6	模坯的磷化处理	180

---

<b>第 10 章 冷挤压模具型腔母模具的损坏与预防</b> .....	188
10.1 延长母模具寿命的方法 .....	188
10.1.1 初期损坏的主要原因 .....	188
10.1.2 疲劳破坏的预防措施 .....	190
10.1.3 早期磨损的预防措施 .....	190
10.1.4 型腔挤压母模具的维护 .....	191
10.2 母冲头的损坏与预防措施 .....	191
10.2.1 母冲头的变形 .....	191
10.2.2 母冲头的断裂 .....	191
10.2.3 母冲头的破损 .....	193
10.3 母凹模的损坏与预防措施 .....	194
<b>第 11 章 挤压模具型腔的设备和生产车间</b> .....	196
11.1 挤压压力机 .....	196
11.2 挤压模具型腔的生产车间 .....	204
11.2.1 挤压工段 .....	204
11.2.2 特殊挤压工段 .....	205
11.2.3 安全操作 .....	205
11.2.4 挤压模具型腔的技术经济效果 .....	206
11.2.5 双金属模具镶块的热模锻 .....	206
11.3 挤压模具型腔工艺过程的机械化和自动化 .....	207
<b>附录 常用挤压成形术语英汉对照</b> .....	209
<b>参考文献</b> .....	214

# 第 1 章 模具型腔挤压成形的工艺技术特征

## 1.1 模具型腔挤压成形的一般技术特征

挤压成形利用母冲头挤压模坯，在模坯上获得模具型腔。图 1-1 示出不通孔型腔和通孔型腔的挤压成形。由于母冲头载荷的不断加大，塑性变形区逐渐扩大，使母冲头附近的模坯金属进入塑性状态，母冲头的工作部分逐渐由模坯表面扩展到所需要的深度。

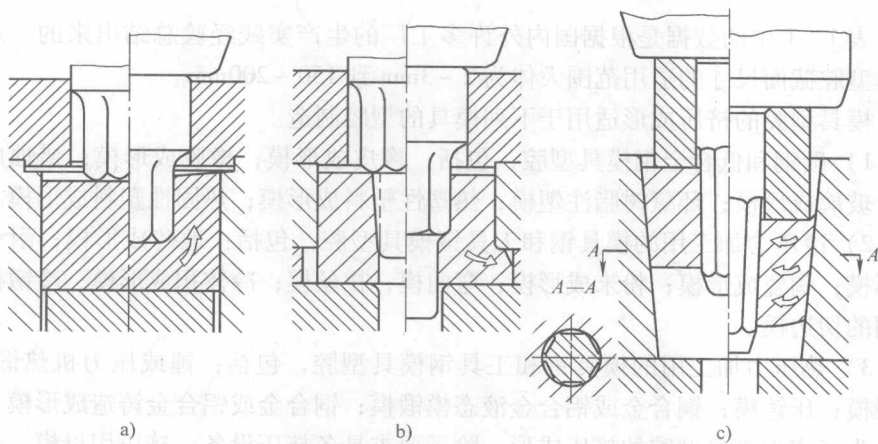


图 1-1 不通孔型腔和通孔型腔的挤压成形

a) 轴向（闭式）挤压 b) 通孔（半闭式）挤压 c) 压缩挤压

在整个挤压过程中，模坯主要处于三向压应力状态，要求模坯的塑性好，即使在挤压较深的模具型腔时，模坯中也不易形成裂纹。如果要挤压成形高精度的模具型腔，必须考虑增加侧向力的作用。

挤压模具型腔的模具品质可以用工艺技术参数表达，例如：模具型腔的形状、尺寸、精度、表面品质和金属材料性能等。每一个参数都举足轻重，足以影响挤压模腔品质的优劣，以至于成败。对于模坯硬度这一参数，当硬度在 130HBW 以下时，例如 10 钢、15 钢、20 钢，模具型腔的挤压成形比较容易；当硬度为 130~170HBW 时，例如 40Cr 钢、12Ni3A 钢、T10A 钢，模具型腔的挤压成形就比较困难；当硬度为 170~240HBW 时，例如 5CrNiMo 钢、3Cr2W8V 钢、Cr12Mo 钢、4Cr5W2VSi 钢，模具型腔的挤压成形就更加困难了。

表 1-1 列出模具型腔挤压成形时的基本工艺技术参数。根据挤压成形的复杂程度分为 I、II 和 III 三组。

表 1-1 模具型腔挤压成形时的基本工艺技术参数

工艺技术参数	工艺复杂程度		
	I	II	III
截面形状	简单的对称形、多边形	复杂的不对称形	长轴类（摇把、叉形件）
模具型腔的相对深度 ( $\lambda = h/d$ ) <sup>①</sup>	0.1 ~ 0.5	0.5 ~ 1.5	1.5 ~ 10
模坯硬度 HBW	100 ~ 130	130 ~ 170	170 ~ 240
尺寸精度等级 (ISO)	11 ~ 12	9 ~ 10	7 ~ 8
表面粗糙度 $R_a/\mu\text{m}$	0.4 ~ 0.8	0.1 ~ 0.2	~0.1

①  $h$  为凹槽深度,  $d$  为凹槽宽度。

表 1-1 中的数据是根据国内外许多工厂的生产实践经验总结出来的。对于模具型腔截面尺寸的适用范围大体为 2 ~ 3mm 到 150 ~ 200mm。

模具型腔的挤压成形适用于下列模具的型腔制造。

1) 碳钢和低合金钢模具型腔, 包括: 橡皮成形模; 橡胶成形模; 蜡烛成形模; 玻璃成形模; 环氧树脂注塑模; 热塑性塑料成形模; 热固性塑料成形模。

2) 冷压力加工用的模具钢和工具钢模具型腔, 包括: 地砖成形模; 耐火砖成形模; 陶瓷成形模; 粉末成形模; 弯曲模; 拉丝模; 冷体积成形模; 冷镦标准件用的切边模。

3) 热压力加工用的模具钢和工具钢模具型腔, 包括: 锤或压力机热锻模; 温锻模; 压铸模; 铜合金或铝合金液态模锻模; 铜合金或铝合金铸造成形模。

为了实现模具型腔的挤压成形, 除了要求具备挤压设备、挤压用母模、挤压模坯、润滑材料等, 还要注意软件的开发, 例如, 编制进行工艺过程的指导性文件、工艺卡片, 并且要切实遵守。

挤压用母模设计的主要依据是生产实践。设计人员必须根据本单位的具体条件, 以及所需要挤压成形制造的模具型腔的具体特征进行系统的研究和实验。在这一点上, 俄罗斯、捷克、爱沙尼亚、拉脱维亚等国做得较好, 他们有不少论著先后问世。

用挤压的方法加工模具型腔的主要优点如下:

1) 生产率高、制造周期短, 比机械加工方法生产率提高 3 ~ 4 倍。20 世纪 70 年代, 上海锻压机床三厂制造 5in (122.5mm) 扳手锻模型腔, 冷挤压成形只要 2min, 全部加工完毕仅 7h, 工时减少了 60.5%。原来手工开模要 17 ~ 18h, 钳工工作量减少 90% 以上。

2) 精度高、平整度好, 表面粗糙度低,  $R_a$  可达 0.2 $\mu\text{m}$  以下。

- 3) 纤维组织完整、强度高、使用寿命长。材料被压缩后, 内部组织紧密、完整, 提高了强度和耐磨性。
- 4) 节材节能, 综合成本低, 对工人的技术要求低。
- 5) 母冲头制造较容易。
- 6) 采用同一母冲头挤压的模具型腔形状尺寸一致, 可以互换。

## 1.2 模具型腔挤压成形工艺技术的分类

用母模挤压成形模具型腔的工艺技术, 可以根据被挤模坯塑性变形区的大小、模坯材料的塑性流动特征、应力-应变状态等进行分类。

根据模具型腔挤压成形过程中, 模坯心部和外围金属的主要流动特征, 可以将模具型腔挤压成形的基本工艺技术分为三类, 见表1-2。

表1-2 模具型腔挤压成形的基本工艺技术

参 数	挤压成形的基本工艺技术		
	轴向挤压	通孔挤压	压缩挤压
原始模坯的最大硬度 HBW	180	230	230
模坯直径/mm	5~250	5~120	5~50
轴向单位压力 $P_T$ /GPa	2.0~4.0	1.0~2.5	0.5~1.5
模具型腔的相对深度 ( $\lambda = h/d$ )	0.5~1.5	1~3	2~10
挤压速度/(mm/s)	0.05~0.5	0.05~0.4	0.4~4
变形的不均匀程度	严重	一般	小
母冲头的结构特征	无芯轴导向	有芯轴导向	复杂形状
摩擦的主要形式	内摩擦	接触摩擦	接触摩擦
模坯钢种	低碳钢、中碳钢	低合金钢、中合金钢	合金钢

轴向挤压见图1-1a, 这是在实心模坯上成形不通孔型腔。在模坯上形成塑性变形区的同时也存在死区。因此, 在整个模坯上的变形极不均匀, 模坯的外围部分金属受到母凹模壁和垫板的限制, 径向流动不明显, 可忽略不计。

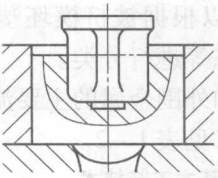
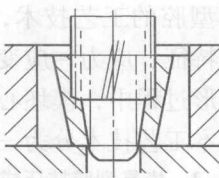
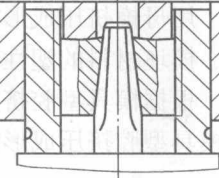
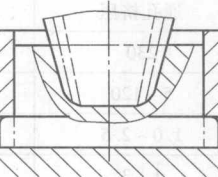
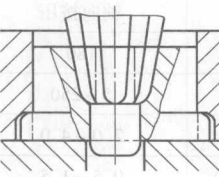
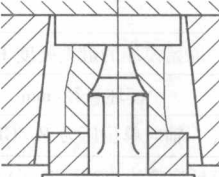
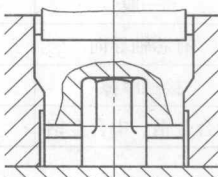
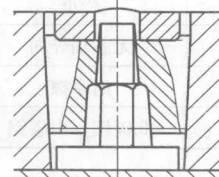
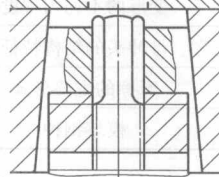
通孔挤压见图1-1b, 这是在带中心通孔模坯上成形通孔型腔。母冲头可带导向芯轴或不带导向芯轴。挤压时, 在模坯的通孔周围形成不大的塑性变形区, 从而形成通孔型腔。母冲头是在接触摩擦的条件下使通孔型腔成形。模坯外围部分的金属流动不明显, 变形程度的不均匀性一般。

压缩挤压见图1-1c, 这是在设备的工作状态下, 母冲头的工作部分压向模坯, 模坯受到母凹模锥形侧壁或阶梯形侧壁的作用, 使模坯的通孔成形为所希望得到的型腔。整个模坯沿着高度方向变形程度较为一致。模坯外围部分的金属由于受到锥形凹模壁的压缩, 向轴心方向产生径向流动。母冲头工作部分的截面可

以是正多边形，也可以是其他形状，从而使在整个过程中所产生的径向流动量不同。

由图 1-1 可见，这三种不同情况下，模坯外围部分的金属流动情况不同，模具型腔挤压成形工艺参见表 1-3。

表 1-3 模具型腔挤压成形工艺技术简图

模坯变形方式	不通孔型腔的轴向挤压	带底孔的通孔挤压	深腔的压缩挤压
闭式挤压			
半闭式挤压			
压缩挤压			

闭式挤压时，模坯型腔在整个模坯高度径向均受压。半闭式挤压时，模坯型腔在整个模坯高度上，有一部分由于母凹模内壁的作用，径向受压，而另外一部分径向不受压，可以径向向外流动。压缩挤压时，模坯在锥形或阶梯形母凹模里受径向压缩的同时，将模具型腔挤压成形。

下面简单介绍四种型腔挤压成形技术：

(1) 闭式挤压（见图 1-1a）母冲头挤入模坯。由于母凹模型腔内壁的限制，模坯的外围部分金属不能向外流动，金属只能沿母冲头轴线方向向上流动，径向尺寸变化不明显。由于模坯金属的塑性变形受到限制，所以需要的挤压力较大。

闭式冷挤压工艺一般用于挤压精度要求较高,不通孔型腔或半通的模具型腔,型腔的横截面面积不宜太大。闭式冷挤压获得的型腔较深,模具型腔的相对深度 $\lambda = h/d < 4 \sim 5$ ,精度7~8级,表面粗糙度 $R_a \leq 0.1 \mu\text{m}$ 。

闭式挤压时, $D/d$ 值越小,挤出的模坯高度增加越多( $D$ 为模坯外径, $d$ 为挤压型腔内径)。此时,由于变形程度较大,变形区域几乎扩展到整个体积范围。由于母凹模壁对模坯的反作用力,使整个模坯处于三向立体不均匀应力状态,保证了材料的高塑性,从而能挤压成形出有一定深度的型腔。挤压出的型腔与母冲头的形状能很好吻合,型腔精度较高,表面粗糙度低。然而,在闭式挤压时,单位变形力大,母冲头的负载高达2.5~3.5GPa,大大影响了母冲头的使用寿命。由于变形力大,也就要求大吨位的挤压设备。即使挤压中等尺寸的模具型腔,也要求大吨位的挤压设备。

但如果 $D/d$ 值增大,单位变形力则下降。闭式挤压时,当 $D/d$ 值在5左右时,开式挤压与闭式挤压挤压出的模具型腔品质相差不大,所以闭式挤压时的 $D/d$ 值一般较小。

为了降低模具型腔挤压时的单位压力,还可以在模坯上设计减荷穴,也可以在母凹模的底部或侧壁设计容料孔(穴)。这样在模具型腔挤压成形时,可以容纳由于母冲头挤入模坯时挤出的金属,从而减小单位变形力。在挤压低塑性钢(硬度在160HBW以上)模坯时,挤压型腔的深度不宜太深。

闭式冷挤压工艺可以采用通用模架,母冲头与母凹模可以用塑性比较好的工具钢制作。

(2) 半闭式挤压(见图1-1b) 母冲头挤入模坯,模坯沿高度方向大部分受到母凹模型腔内壁的限制,但有小部分处于自由表面。模坯的这一部分金属可产生径向流动,使径向尺寸增加。犹如在模坯周围存在一圈环形的减荷穴,或是在母凹模的底部或侧壁设计的容料孔(穴)。

模坯在进行半闭式挤压模具型腔时具有如下特征:单位变形力较小,大约为1.2~2.2GPa,比闭式挤压时的单位变形力小80%,母冲头的寿命较高,模腔精度达9~11级,表面粗糙度 $R_a \leq 0.2 \mu\text{m}$ 。

应用小孔或通孔作为减荷穴的模坯,进行半闭式挤压时,单位变形力还可以降低10%~20%。

半闭式挤压适用于获得大中型塑性好的硬度在150HBW以下的钢质模坯,并可以获得合适的精度。在挤压大型模具型腔时,可以采用通用模架和具有预应力圈作用的专用模架,在局部高度可对模坯施加预应力。

(3) 压缩挤压(见图1-1c) 在母冲头挤压模坯的同时,母凹模的锥形侧壁或阶梯形侧壁同时压缩模坯。模坯金属既发生轴向流动,也伴随发生模坯外围金属的径向流动。

压缩挤压模坯型腔时，模坯材料在各个方向均处于不均匀压缩状态。由于应力状态良好，保证了模坯材料的高塑性，即使在压缩挤压高合金难变形钢时，压缩挤压有可能成形出较深的型腔。压缩挤压所获得的型腔精度可达6~8级，表面粗糙度小， $R_a$ 为0.2~0.1 $\mu\text{m}$ 。

压缩挤压可以压制塑性较差的模具钢或高合金钢模坯，其硬度不超过220HBW，可以获得不通孔型腔和通孔型腔。通常情况下，压缩挤压用的母凹模不是固定在压力机上的，可以像胎膜那样操作以压缩挤压成形模具型腔。

(4) 开式挤压（见图1-2）这是将一定形状的模坯放在冲头下面挤压，而不用限制模坯金属向四周流动的母凹模或套圈，模坯完全处于自由状态。挤压时，被挤压的模坯金属不仅向母冲头轴线方向流动，也向模坯边缘径向流动，使直径增加。

开始挤压成形模具型腔需要的准备时间短，在一般的压力机上均可进行开式挤压。开式挤压的单位变形力小，约为1.0~1.5GPa，母冲头寿命长。开式挤压在多型腔的挤压成形中采用较多。

开式挤压模具型腔的精度不高，约为12~14级，表面粗糙度 $R_a$ 为0.2~0.4 $\mu\text{m}$ 。此外，开式挤压金属消耗大，因为模坯的外围部分犹如一个箍紧环，必须有一定的厚度才能起到箍紧作用。不管是开式挤压还是闭式挤压，模坯外径 $D$ 与挤压型腔内径 $d$ 之比值得挤压的后果影响很大。开式挤压时 $D/d$ 值越小，挤压时模坯的形状改变越大。当 $D/d < 2$ 时，挤压后的模坯将发生很大的挠曲，因此无法应用。只有在这个比值较大的情况下，效果才会好转，但变形时将需要较高的单位变形力。

开式挤压主要用于温挤压或热挤压大型低碳合金钢模具型腔，其硬度小于130HBW，深度浅，精度低，侧壁拔模斜度 $\alpha \geq 15^\circ$ 。

原则上前面所介绍的各种模具型腔的挤压成形工艺技术，均可对冷热状态的模坯进行挤压。室温下对模坯进行挤压时，模坯材料有明显的加工硬化现象。温挤压的模坯一般加热到200~280 $^\circ\text{C}$ ，需要的变形力较小，但仍然有加工硬化现象。对加热到650~800 $^\circ\text{C}$ 的模坯进行挤压叫半热挤压。由于再结晶过程，无明显加工硬化现象，变形力也小，也有人把半热挤压称为温挤压。在高于再结晶温度时进行的挤压叫热挤压。热挤压的模坯无加工硬化现象，单位变形力小。

根据模具型腔的挤压条件可采用不同的挤压变形速度。在工作行程范围内，

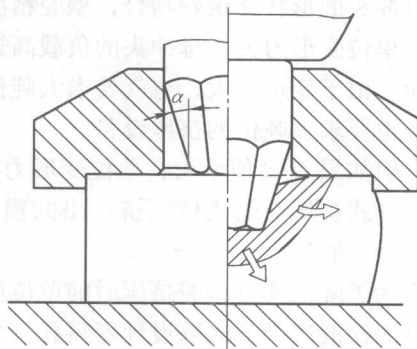


图1-2 模具型腔的开式挤压



压力机滑块具有不同的速度,其范围大致为0.01~250mm/s。

现在已有不少模具型腔挤压成形的工艺技术。例如超塑性挤压、静液挤压、高速挤压等。它们的一般应用场合见表1-4。

表1-4 模具型腔挤压成形工艺技术的应用场合

挤压工艺	挤压对象	滑块速度/(mm/s)	温度/℃	挤压设备
温挤压	凹模	约0.5	200~280	液压机
半热挤压	凹模	5~10	650~800	液压机
		100~150		一般机械压力机
热挤压	凹模	100~600	900~1100	一般机械压力机
		500~1500		模锻锤、螺旋压力机
超塑性挤压	凹模	0.2~0.5	600~800	液压机
双金属凹模挤压	凹模	100~150	800~900	曲柄压力机
静液挤压	冲头、凹模	5~10	20	液压机
动液挤压	凹模	100~150	900~1000	曲柄压力机
高速锤挤压	冲头、凹模	$(10\sim250)\times 10^3$	900~1000	高速锤
高速冲击挤压	凹模	$(10\sim250)\times 10^3$	900~1000	爆炸冲击装置

### 1.3 模具型腔的挤压成形工艺技术

在模坯上挤压成形型腔的难易程度,取决于挤压型腔形状的复杂程度、几何尺寸的大小和模坯原始尺寸与挤压型腔尺寸之比( $D/d$ )。原则上可以采用任何一种挤压成形工艺技术挤压模具型腔,但是设计人员应该结合本单位的实际,综合考虑母冲头和母凹模制作的难易程度、成本高低以及挤压模坯时的具体操作。

模具型腔挤压成形后的尺寸精度,一般情况下与母冲头的尺寸精度相符,必要时要根据实际情况进行修正,主要由设计人员根据经验而定。因为由于材料的弹性回复,挤压成形后模具型腔的直径可能要比母冲头相对应的尺寸小些。

表1-5列出了挤压模具型腔时成形性能好与差的实例。在挤压成形模具型腔时,应该参考表1-5来设计母凹模与母冲头。应该注意简化挤压件的形状,尽量减少台阶、尖棱、沟槽、接口等;对于较深的模具型腔,要考虑拔模斜度。

下面列举一些设计时需要考虑的事项:

1) 设计模具型腔底部时,有关各部分之间要光滑过渡,棱边要倒圆,圆角半径不小于0.3~0.5mm。

2) 阶梯形型腔中,阶梯过渡处的圆角半径 $R$ 应尽量放大,不小于0.5~1mm。这样,在模具型腔挤压时,模坯金属容易流动,母冲头不易折断。