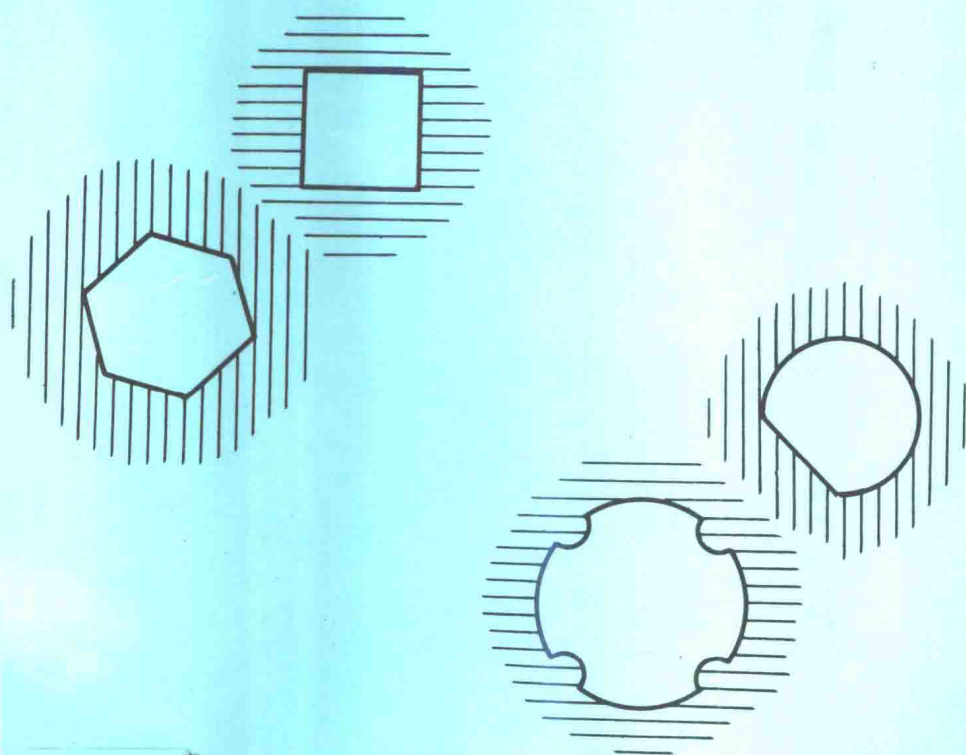


模具型腔的挤压成形

胡亚民 编著



兵器工业出版社

模具型腔的挤压成形

胡亚民 编著

兵器工业出版社

内 容 简 介

采用挤压成形模坯型腔工艺制造模具,不但可以大大节省贵重的合金钢材,提高劳动生产率,而且能大幅度改善模具质量,提高模具寿命。本书对挤压成形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。本书除介绍了一般的冷挤压成形型腔以外,还介绍了温挤压、热挤压、超塑挤压和其它特种成形挤压型腔工艺。

本书除了满足机械制造行业和锻压行业的科技人员使用以外,更可供玻璃、橡胶、塑料、陶瓷等行业的模具设计和研究、制造的科技工作者使用。对于高等院校的有关专业师生阅读本书亦很有裨益,能开阔眼界、扩大知识面以适应在工作中与模具打交道的需要。

图书在版编目 (CIP) 数据

模具型腔的挤压成形/胡亚民编著. —北京:兵器工业出版社, 1997. 9
ISBN 7-80038-993-6

I. 模… II. 胡… III. 型腔模-挤压成形 IV. TG76

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (97) 第 04706 号

兵器工业出版社 出版发行

(邮编:100081 北京市海淀区车道沟 10 号)

各地新华书店经销

河南济源国营五三印刷厂印装

*

开本: 787×1092 1/16 印张: 10.5 字数: 259 千字

1997 年 12 月第 1 版 1997 年 12 月第 1 次印刷

印数: 1—1500 定价: 18.50 元

前 言

人们对金属制品的净形或近似净形加工(即以前所说的少、无切削加工)并不陌生,早就认识到利用成形的方法代替金属切削加工,获得精密毛坯、节材节能,可以提高产品以及模具的使用性能,减少机加工工时,节省开支,大大提高劳动生产率。然而,由于种种原因,例如产品生产批量不大,需要大型锻压设备和模具寿命要达到一定的经济指标等,使该工艺的发展势头不十分理想。

前苏联在 50 年代开始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。60 年代至今,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、温挤方法,从而进一步降低了凹模型腔的制造工时,提高了使用寿命、机械强度、改善了表面粗糙度,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 60 年代,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,研制成功了制造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 5000mm^2 。1965 年,国内研制出专门用于冷挤压模具型腔的 8MN 专用油压机,1976 年研制出 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可提高寿命 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 $Ra0.05\sim 0.1\mu\text{m}$ 。

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敷润滑材料等。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,以使能对模具型腔的挤压成形工艺易于普及推广、易于为广大专业工作者了解、接受、熟悉、应用起推动作用。书中介绍了冷挤压、温挤压、超塑挤压、高速挤压和其它特种挤压型腔工艺。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。

编著者

1997 年 7 月

目 录

1 模具型腔挤压成形的工艺特征	(1)
1.1 挤压成形的一般工艺特征.....	(1)
1.2 型腔挤压成形工艺的分类.....	(3)
1.3 型腔的挤压成形工艺.....	(6)
2 模具型腔挤压的变形特征和力学特征	(9)
2.1 模具型腔挤压的变形特征.....	(9)
2.1.1 模具型腔的轴向挤压成形.....	(9)
2.1.2 模具型腔的通孔挤压成形.....	(10)
2.1.3 模具型腔的压缩挤压成形.....	(11)
2.2 模具型腔挤压的力学特征.....	(11)
2.2.1 母冲头形状对于挤压力的影响.....	(11)
2.2.2 不同挤压工艺的影响.....	(12)
2.2.3 单位挤压力的计算公式.....	(13)
2.2.4 通孔挤压时的力学特征.....	(14)
2.2.5 压缩挤压时的力学特征.....	(14)
2.3 挤压力的分析计算.....	(15)
2.3.1 影响挤压力的工艺因素.....	(15)
2.3.2 轴向挤压和通孔挤压下的应力-应变状态.....	(16)
2.3.3 压缩挤压力的计算.....	(17)
3 模具型腔的冷轴向挤压	(21)
3.1 冷轴向挤压工艺.....	(21)
3.2 模坯的合理设计.....	(23)
3.2.1 表面形状.....	(23)
3.2.2 减荷穴.....	(24)
3.2.3 模坯材料.....	(26)
3.3 冷挤压用母冲头.....	(26)
3.3.1 母冲头的工作部分.....	(27)
3.3.2 母冲头的支承部分.....	(29)
3.3.3 组合型母冲头.....	(30)
3.3.4 母冲头材料和热处理.....	(30)
3.4 冷挤压模具型腔的母凹模.....	(31)
3.4.1 通用母凹模的结构.....	(32)
3.4.2 通用母凹模的其他形式.....	(34)
3.4.3 通用母凹模的规格尺寸及制造用材料.....	(34)
3.5 母冲头的脱模.....	(35)

3.6	多型腔的轴向挤压和大型型腔的轴向挤压	(36)
3.6.1	单凹模型腔的对向挤压	(36)
3.6.2	双面挤压	(37)
3.6.3	多冲头同时挤压	(37)
3.6.4	多型腔凹模挤压	(37)
3.6.5	不对称型腔的挤压	(37)
3.6.6	大模坯型腔的挤压成形	(38)
3.7	模具型腔冷挤压成形实例	(40)
3.8	T形螺栓冷锻模型腔的冷挤压成形	(43)
3.9	打字冲头字体凸花的冷挤压成形	(45)
4	带顶料孔复杂型腔的通孔挤压	(47)
4.1	直壁型腔的挤压成形	(47)
4.2	内螺纹型腔的通孔挤压	(48)
4.3	在板上成形异形孔的通孔挤压	(51)
4.4	带压板的通孔挤压	(52)
5	通孔型腔的压缩挤压	(56)
5.1	径向压缩挤压	(57)
5.1.1	通孔型腔的挤压成形	(57)
5.1.2	阶梯型腔的挤压成形	(58)
5.1.3	在母凹模圆柱型腔内的径向压缩	(58)
5.1.4	在母凹模多边形型腔内的径向压缩	(59)
5.2	带径向压缩的轴向挤压	(60)
5.3	带轴向压缩的挤压	(61)
5.4	用于径向压缩的模坯	(62)
5.5	径向压缩挤压模	(65)
5.5.1	母冲头	(65)
5.5.2	母凹模	(67)
5.5.3	径向压缩挤压模的其他零件	(69)
5.5.4	设备的选择	(69)
6	模具型腔的热挤压成形	(71)
6.1	模具型腔热挤压的一般概念	(71)
6.2	热挤压力学规范和变形性能	(73)
6.3	热挤压的原始模坯	(74)
6.4	热挤压母冲头及润滑	(76)
6.5	大型锻模型腔和胎模型腔的热挤压	(77)
6.6	锤上热挤压	(80)
6.7	摩擦压力机或螺旋压力机上的热挤压	(80)
6.8	在曲柄压力机上热挤压双金属凹模型腔	(81)
7	模具型腔的温挤压成形	(83)

7.1	温挤压技术	(83)
7.2	温塑性成形的变形抗力与金属流动特征	(84)
7.3	温塑性变形的强化机理与工艺因素	(85)
7.3.1	温塑性变形的强化机理	(85)
7.3.2	温塑性变形时的韧性与断裂	(86)
7.3.3	温塑性变形的工艺因素	(86)
7.4	温挤压成形工艺	(87)
7.4.1	温挤压变形力的变化阶段	(87)
7.4.2	影响温挤压变形力的因素	(88)
7.5	温挤压成形件的质量	(89)
7.5.1	温挤压成形件的尺寸精度	(89)
7.5.2	温挤压成形件的表面粗糙度	(89)
7.5.3	温挤压成形件的组织性能	(89)
7.6	温挤压成形模具设计与模具材料	(90)
7.6.1	温挤压成形模具的要求	(90)
7.6.2	温挤压成形模具结构	(91)
7.6.3	温挤压母凹模设计	(91)
7.6.4	温挤压母冲头设计	(92)
7.6.5	模具材料组织对温成形母冲头和母凹模性能的影响	(92)
7.7	几种常用模具钢的温锻成形性能	(93)
7.7.1	模具钢的可成形性	(93)
7.7.2	模具钢的等温成形	(97)
7.8	温挤压成形模具实例	(99)
7.8.1	LD 钢十字槽精挤模	(99)
7.8.2	Cr12MoV 钢和 W6Mo5Cr4V2Al 钢螺栓切飞边凹模	(100)
8	模具型腔的超塑性挤压	(103)
8.1	金属和合金的超塑性	(103)
8.2	超塑性挤压成形模具型腔的工艺参数	(104)
8.2.1	LD 钢的超塑性	(108)
8.2.2	W6Mo5Cr4V2 钢的超塑性	(108)
8.3	H62 黄铜注塑模型腔的超塑成形	(109)
8.4	H13 钢锻模型腔的超塑性成形	(111)
8.4.1	超塑性成形工艺装置	(112)
8.4.2	工艺参数的选择	(113)
8.4.3	超塑性制模的工艺流程	(115)
8.4.4	技术经济效果分析	(116)
8.5	5CrMnMo 钢精锻模型腔的超塑成形	(116)
8.6	Cr12MoV 钢冲头坯和凹模型腔的超塑成形	(119)
8.6.1	M12 六方冷锻冲头坯的超塑成形	(119)

8.6.2	DW8—35 多油断路器中的铜触指冷锻模型腔的超塑性成形	(120)
9	获得精确模坯的特种成形工艺	(122)
9.1	精确模坯的静液挤压与动液挤压	(122)
9.2	型腔的高速挤压	(124)
9.2.1	炮轰成形	(124)
9.2.2	高速锤模锻(挤压)	(126)
10	挤压成形时的润滑	(128)
10.1	挤压润滑剂的一般性能	(128)
10.2	几种常用的润滑材料	(128)
10.2.1	石墨	(128)
10.2.2	二硫化钼	(130)
10.2.3	二硫化钨	(130)
10.2.4	玻璃粉	(131)
10.3	一般润滑方法	(132)
10.4	模具型腔冷挤压时母冲头工作部位的润滑	(132)
10.5	化学镀铜	(132)
10.6	模坯的磷化处理	(133)
11	冷挤压模坯型腔母模具的损坏与预防	(139)
11.1	延长母模具寿命的方法	(139)
11.1.1	初期损坏的主要原因	(139)
11.1.2	疲劳破坏的预防措施	(140)
11.1.3	早期磨损的预防措施	(141)
11.1.4	型腔挤压母模具的维护	(141)
11.2	母冲头的损坏与预防措施	(141)
11.2.1	母冲头的变形	(141)
11.2.2	母冲头的断裂	(142)
11.2.3	母冲头的破损	(143)
11.3	母凹模的损坏与预防措施	(144)
12	挤压模具型腔的设备和生产车间	(146)
12.1	挤压压力机	(146)
12.2	挤压模具型腔的生产车间	(153)
12.2.1	挤压工段	(153)
12.2.2	特殊挤压工段	(154)
12.2.3	安全操作	(154)
12.2.4	挤压模腔的技术经济效果	(155)
12.2.5	双金属模具镶块的热模锻	(155)
12.3	挤压凹模型腔工艺的机械化与自动化	(156)
	参考文献	(157)

1. 模具型腔挤压成形的工艺特征

1.1 挤压成形的一般工艺特征

利用母冲头挤压模坯,在模坯上获得模具型腔,如图 1.1(a)所示。由于母冲头载荷的不断加大,塑性变形区逐渐扩大。母冲头底平面下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。

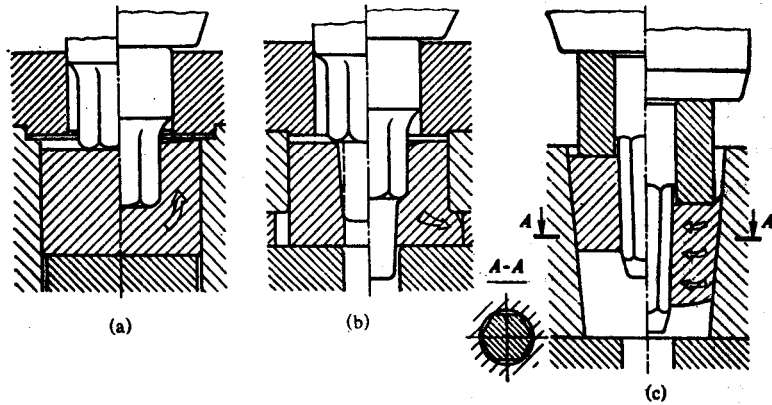


图 1.1 盲型腔和通孔型腔的挤压成形
(a)轴向(闭式); (b)通孔(半闭式); (c)压缩挤压

在整个挤压过程中,模坯主要处于三相压应力状态,所以模坯的塑性好,即使在挤压较深的型腔时,模坯中也不易形成裂纹。因此,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。

挤压模坯型腔的模具质量可以用许多工艺参数来表达,例如模坯型腔的形状、尺寸、精度、表面质量、金属材料性能等。每一个参数都是举足轻重,足以影响挤压模坯型腔质量的优劣,以致于成败。例如模坯硬度这一参数。当硬度在 HB130 以下时,例如 10 钢、15 钢、20 钢,其模坯型腔挤压成形比较容易;当硬度为 HB130~170 时,例如 40Cr 钢、12Ni3A 钢、T10A 钢,模坯型腔的挤压成形就比较困难。如果硬度为 HB170~240 时,例如 5CrNiW 钢、3Cr2W8V 钢、Cr12Mo 钢、4Cr5W2VSi 钢,模坯型腔的挤压成形就更困难了。

表 1.1 为模坯型腔挤压成形时的基本工艺参数。根据挤压成形的难易程度分为 I、II、III 三组。

表 1.1 模坯型腔挤压成形时的基本工艺参数

工艺参数	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)
模坯型腔的相对深度($\lambda=h/d$)	~0.5	0.5~1.5	1.5~10
模坯硬度(HB)	100~130	130~170	170~240
尺寸精度等级(ISO)	11~12	9~10	7~8
表面粗糙度 $Ra(\mu m)$	0.4~0.8	0.1~0.2	~0.1

表 1.1 中的数据是根据国内外的许多工厂的生产实践经验总结出来的。对于模坯型腔截面尺寸的适用范围大体在从 2~3mm 到 150~200mm 时。

模坯型腔的挤压成形适合于下列模具的型腔制造。

(1) 碳钢和低合金钢模具型腔

- 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

- 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
- 冷锻标准件用的切边模

(3) 热压力加工用的模具钢模具型腔

- 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,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、拉脱维亚等国做得相当出色,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有:

(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。70 年代,上海锻压机床三厂制造 5"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 60.5%。原来手工开模要 17~18h,钳工工作量减少 90%以上^{[6][7]}。

(2) 精度高、平整度好,粗糙度低,可达 $Ra0.2\mu\text{m}$ 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,可以代替一些特殊机加工设备机加工型腔。

(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 型腔挤压成形工艺的分类

用母模挤压成形模具型腔的工艺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以及应力-应变状态来简单分类。

根据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划分为三类基本的挤压工艺,如表 1.2 所示。

表 1.2 模坯型腔挤压成形的基本工艺

参 数	挤压的基本工艺		
	轴向挤压	通孔挤压	压缩挤压
原始模坯的最大硬度(HB)	180	230	230
模坯直径(mm)	5~250	5~120	5~50
轴向单位压力 P_r (GPa)	2.0~4.0	1.0~2.5	0.5~1.5
型腔的相对深度/ λ	0.5~1.5	1~3	2~10
挤压速度/ $\text{mm} \cdot \text{s}^{-1}$	0.05~0.5	0.05~0.4	0.4~4
变形的不均匀性程度	严重	一般	小
母冲头的结构特征	无芯轴导向	有芯轴导向	有复杂形状
摩擦的主要形式	内摩擦	接触摩擦	接触摩擦
模坯钢种的适用范围	低碳钢、中碳钢	低合金钢、中合金钢	合金钢

轴向挤压,见图 1.1(a),是在实心模坯上成形盲型腔。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,径向移动不明显,可忽略不计。

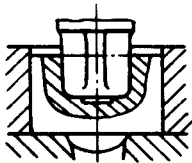
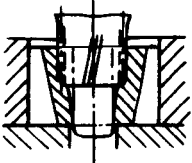
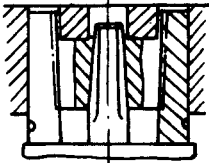
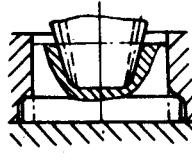
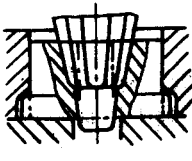
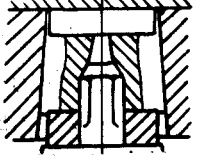
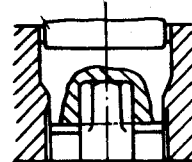
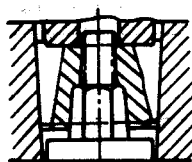
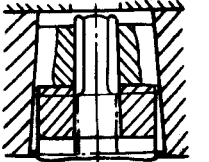
通孔挤压,见图 1.1(b),是在带中心通孔模坯上成形通孔型腔。母冲头可带导向芯轴或不带导向芯轴。挤压时,在模坯的通孔周围形成不大的塑性变形区,从而形成通孔型腔。母冲头是在接触摩擦的条件下使通孔型腔成形。模坯的外围部分金属流动不明显,变形程度的不均匀性一般。

压缩挤压,见图 1.1(c),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移动。母冲头工作部分的截面可以是正多边形,也可以是其它形状,从而使在整个过程中所产生的径向移动量不同。

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,参见表 1.3。

表 1.3 模坯型腔挤压成形工艺简图

模坯变形方式	盲腔轴向挤压	带底孔的通孔挤压	深腔压缩挤压
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,有一部分由于预应力圈的作用,径向受压,而有另外一部分径向不受压,可以径向向外流动。模坯在锥形或阶梯形母凹模里受径向压缩的同时,将模坯型腔挤压成形。

下面简单介绍这几种型腔挤压成形工艺。

闭式挤压,见图 1.1(a),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移动,金属只能沿轴线方向向上流动,径向尺寸变化不明显。

闭式挤压时, D/d 值越小,挤出的坯料高度增加越多。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。这里 D 表示模坯外径, d 表示挤压型腔内径。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压应力状态,保证了材料的高塑性,从而能挤压成形有一定深度的型腔,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 $2.5 \sim 3.5 \text{ GPa}$,大大影响了母冲头的使用寿命。由于变形力大,也就要求大的挤压设备。即使挤压中等尺寸的模坯型腔,也要求大吨位的挤压设备。

但如 D/d 值加大,单位变形力要下降。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坯型腔质量相差不大,所以闭式挤压时的 D/d 值一般较小。

为了降低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。这样,在模具型腔挤压成形时可以容纳由于母冲头的挤入模坯而挤出的金属,从而减小单位变形力。在挤压低塑性钢(硬度在 HB160 以上)模坯时,挤压型腔的深度不宜太深。

闭式冷挤压工艺一般用于获得盲型腔或半通的型腔,型腔的横截面面积不宜太大。闭式冷挤压获得的型腔较深,模坯型腔的相对深度 $\lambda=h/d < 4 \sim 5$,精度在 7—8 级,表面粗糙度 $Ra \leq 0.10 \mu\text{m}$ 。

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

半闭式挤压,见图 1.1(b),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专门设计了容料孔。

模坯在进行半闭式挤压型腔时具有如下特征:单位挤压力较小,大约为 1.2~2.2GPa,比闭式挤压时的单位挤压力小 30%,母冲头的寿命较高,模腔精度达 9~11 级。表面粗糙度 $Ra = 0.2 \mu\text{m}$ 。

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

半闭式挤压适用于获得大中型塑性好的钢质模坯,硬度在 HB150 以下,这样可以获得合适的精度。在挤压大型模坯型腔时,可以采用通用模具和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。

压缩挤压,见图 1.1(c)为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。

压缩挤压模具型腔时,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,压缩挤压有可能成形出较深的型腔,即使在压缩挤压高合金难变形钢时。压缩挤压所获得的型腔精度可达 6~8 级,表面粗糙度小, $Ra = 0.2 \sim 0.1 \mu\text{m}$ 。

压缩挤压可以压制塑性较差的模具钢和高合金钢模坯,其硬度不超过 HB220。可以获得盲型腔和通孔型腔,精度高达 6~8 级,表面粗糙度 $Ra = 0.2 \sim 0.1 \mu\text{m}$ 。通常情况下,压缩挤压用的母凹模不是固定在压力机上的,可以像胎模那样操作以压缩挤压成形模坯型腔。

开式挤压(见图 1.2)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。在挤压时,被母冲头挤出的金属向模坯边缘径向流动,使直径增加。

开式挤压成形模腔所需要的准备时间短,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($p = 1.0 \sim 1.5 \text{GPa}$),母冲头寿命长,对于多型腔的挤压成形采用较多。但开式挤压模坯型腔的精度不高,大致为 12~14 级,表面粗糙度 $Ra = 0.4 \sim 0.2 \mu\text{m}$ 。

开式挤压还有一个缺点是金属消耗大,因为模坯的外围部分犹如是一个箍紧环,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 之比对挤压的后果影响很大。开式挤压时 D/d 值越小,挤压时坯料的形状改变越大。在 D/d

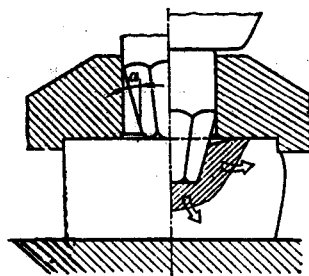


图 1.2 型腔的开式挤压

小于2的情况下,挤压后的坯料将发生很大的挠曲。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挤压力。

开式挤压主要用于温挤或热挤大型低碳低合金钢模坯型腔,其硬度小于 HB130,深度浅,精度低,侧壁拔模斜度 $\alpha \geq 15^\circ$ 。

原则上前面所述各种模具型腔的挤压成形工艺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。

温挤压的模坯一般加热到 200~280℃,所需要的变形力较小,但仍然有明显的加工硬化。

对加热到 650~800℃的模坯进行挤压叫半热挤压。由于再结晶过程,变形强化减弱,变形力也小,也有人把半热挤压称为温挤压。

在锻造温度时进行的挤压叫热挤压,热挤压的模坯无加工硬化,单位变形力小。

根据模坯型腔的挤压条件可采用不同的挤压变形速度,在工作行程内压力机具有不同的速度,其范围大致为 0.01~250mm/s。

现在已经有不少的挤压成形模坯型腔的工艺。例如超塑性挤压、静液挤压、动液挤压、高速挤压等。它们的一般应用场合如表 1.4 所示。

表 1.4 模坯型腔挤压成形工艺的应用场合^[1]

挤压工艺	挤压对象	滑块速度(mm·s ⁻¹)	温度(℃)	挤压用设备
温挤压	模具型腔	~0.5	200	液压机
半热挤压	模具型腔	5~10	500~800	液压机
		100~150		一般机械压力机
热挤压	模具型腔	100~600	1100~900	一般机械压力机
		500~1500		模锻锤、螺旋压力机
超弹性挤压	模具型腔	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、成形凹模	5~10	20	液压机
热动液挤压	成形凹模	100~150	1000~900	曲柄压力机
高速锤挤压	冲头、模具型腔	(10~250)×10 ³	1000~900	高速锤
高速冲击挤压	模具型腔	(10~250)×10 ³	1000~900	爆炸冲击装置

1.3 型腔的挤压成形工艺

在模坯上挤压型腔成形的难易程度取决于被挤压型腔形状的复杂程度与几何尺寸的大小,还有型腔尺寸与模坯原始尺寸之比(即 D/d)。原则上可以采用任何一种挤压成形工艺挤压模坯型腔,但是设计人员应该结合本单位的实际,综合考虑挤压母冲头与母凹模制作的难易程度,成本高低以及挤压模坯时具体操作。

模坯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,主要是由设计人员根据经验确定,因为由于材料的弹性回复,型腔的直径可能要比母冲头相对应的尺寸小些。

图 1.3 给出了挤压模坯型腔时工艺性好与不好的实例。

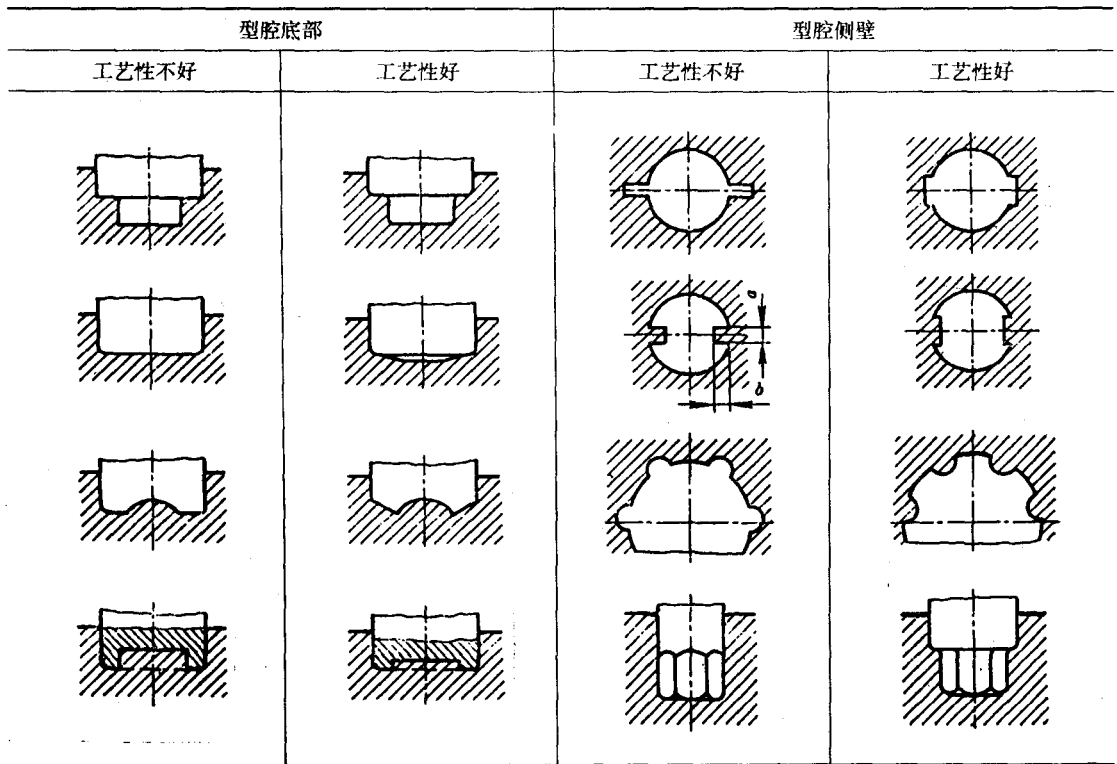


图 1.3 模坯型腔挤压时工艺性好与不好的实例

在挤压成形模坯型腔时,应该参考图 1.3 所示的工艺性好与不好的实例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。对于较深的模坯型腔,要考虑拔模斜度。

设计模坯型腔底部时,必须考虑有关各部分之间的光滑过渡,棱边要倒圆,圆角半径不小于 $R0.3 \sim R0.5$ 。

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 $0.5 \sim 1$ 。这样,在型腔挤压时,模坯金属容易流动,母冲头也不易折断。

母冲头的端部表面最好作成有凸起的形状,这样挤压成形型腔时在型腔底部相应形成凹坑,使单位挤压力有所降低。

挤压底部具有凸台的型腔时,应将母冲头的端部倒角,以使凸台成形时对母冲头产生的胀挤力能够为模坯材料作用在母冲头倒角部位上的压缩力相抵消。

在母冲头端部有凹坑时,可以将模坯型腔底部的凸台挤出。凸台周围凹槽的相对深度 $h/b \leq 0.6$, h 为槽深度, b 为凹槽宽度。如果相对深度太大,在挤压型腔时,母冲头端部容易发生开裂。

在母冲头上一般不宜设计刻线、数字、字母和文字,因为这些凸起的元素加工困难。即使千辛万苦将其加工好,在挤压模腔时也容易损坏。较粗的直线可以在型腔底部挤成,线的宽度建议取成与深度相等。

型腔挤压成形后的底部棱边为圆角,这时的工艺性合理。特别是笋槽及齿的尖棱部位,圆角半径 R 要不小于 $0.3\sim 0.5$,这样,才使型腔挤压成形时,金属容易沿槽或齿的侧面流动。

在挤压成形模坯型腔时,要注意侧表面上的窄长凹槽成形相当困难。因为母冲头上相对应部位的薄的凸筋容易折断。凹槽的宽度 b 与深度 h 之比 $b/h > 1\sim 1.5$ 较为理想。

挤压成形模坯型腔时,侧表面上薄的凸筋同样不容易成形,因为在挤压成形时母冲头容易断裂失效,即使母冲头不发生断裂,在型腔挤压成形时,也容易产生擦伤,拉毛。

在挤压具有径向凸台的模坯型腔时,要考虑到凸台附近模坯金属的收缩。凸台要尽可能合理布置,以减少这种收缩量,否则由于收缩量过大,影响模坯型腔质量。

不少情况下,挤压成形型腔的模坯被做成组合模具中的镶块,或者是用在多工位成形机上的多工位模膛中。

2. 模具型腔挤压的变形特征和力学特征

2.1 模具型腔挤压的变形特征

型腔挤压的生产过程是相当复杂的,不仅型腔形状多种多样,而且挤压成形工艺多种多样,所以要想把型腔挤压的变形特征和力学特征都讲清楚是很困难的。下面简单介绍用基本的挤压成形工艺挤压成形模具型腔时的变形特征和力学特征。

2.1.1 模具型腔的轴向挤压成形

根据模具型腔轴向挤压成形后的子午面上的网格变形可以看出在型腔周围的变形区和粘滞区,它们的分布、大小,以及变形程度的大小。

母冲头端部棱边处的圆角半径越大,或者端部表面积越大,则母冲头附近的模坯金属塑性变形越激烈。模坯金属质点的位移受母冲头工作表面与模坯之间所产生的摩擦力的影响不大,模具型腔容易成形。

母冲头端部棱边处的圆角半径越小,模坯金属在挤压成形型腔时的加工硬化越严重,模具型腔成形时容易产生裂缝。因此,在设计模具型腔时,应该将型腔底部设计成流线形,各部之间光滑过渡。这样,母冲头在工作时,不容易破裂,模具型腔也容易挤压成形。

有时也有反常情况,例如在挤压成形相对深度 $\lambda=1\sim 2$ 的模具型腔时,带有圆角 $r_p=(0.3\sim 0.5)d_p$ 的母冲头挤压比平底母冲头挤压时的单位挤压力大15%~20%。这种现象是一位前苏联学者Ф. А. 科姆麦利发现的^[1]。

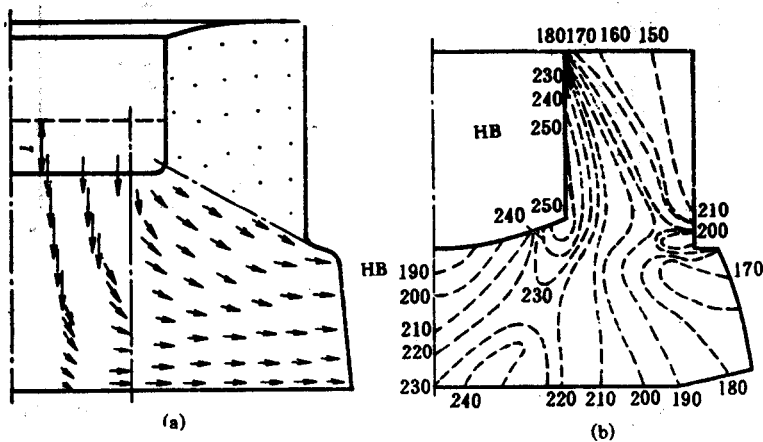


图 2.1 半封闭式挤压型腔时,母冲头移动 / 距离后模坯金属的流动轨迹(a)和挤压时轴向截面上的等硬度线(b)