

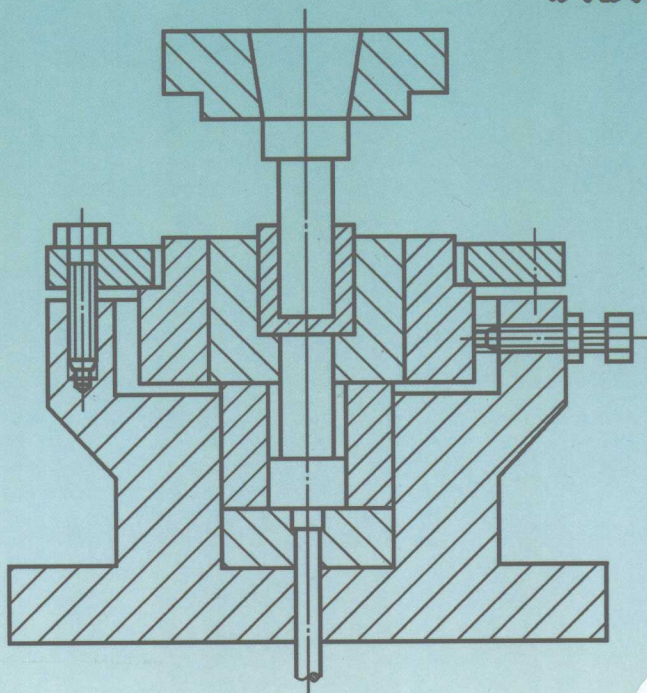


实用模具设计与制造丛书

SHIYONG LENGJIYAMU SHEJI YU ZHIZAO

实用冷挤压模 设计与制造

▲ 洪慎章 编著



 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



实用模具设计与制造丛书

实用冷挤压模设计与制造

洪慎章 编著



机械工业出版社

本书系统地介绍了冷挤压模具的设计与制造技术。全书内容包括：冷挤压基础、冷挤压件的原材料及毛坯准备、冷挤压零件设计、冷挤压工艺制订、冷挤压模具设计、冷挤压模具结构实例、冷挤压模具制造、冷挤压模具的装配及试模。本书以模具结构分析与制造技术为重点，结构体系新颖，技术内容全面；书中配有较多的应用实例，实用性强，能开拓思路，概念清晰易懂，便于自学。

本书主要供从事冷挤压成形加工的工程技术人员、工人使用，也可作为相关专业在校师生的参考书和模具培训班的教材。

图书在版编目 (CIP) 数据

实用冷挤压模设计与制造/洪慎章编著. —北京：机械工业出版社，2010.3

(实用模具设计与制造丛书)

ISBN 978-7-111-29729-1

I. ①实… II. ①洪… III. ①冷加工—挤压模—设计②冷加工—挤压模—制造 IV. ①TG376.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 023429 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 版式设计：霍永明
封面设计：赵颖喆 责任校对：程俊巧 责任印制：乔宇
北京京丰印刷厂印刷
2010 年 3 月第 1 版·第 1 次印刷
169mm×239mm·20 印张·443 千字
0 001—4 000 册
标准书号：ISBN 978-7-111-29729-1
定价：39.00 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

网络服务

社服务中心：(010)88361066

门户网：<http://www.cmpbook.com>

销售一部：(010)68326294

教材网：<http://www.cmpedu.com>

销售二部：(010)88379649

读者服务部：(010)68993821

封面无防伪标均为盗版

前 言

随着 21 世纪的科学技术迅速发展，从事模具工程的技术人员迫切需要掌握多方面的技术，才能正确、合理及敏捷地完成整体的模具产品。制约模具行业发展的因素主要有三个方面：质量、成本和工期。为了提高质量、降低成本和缩短工期，提高模具设计和制造水平日显重要。为此，编写了本书，以期对我国模具行业人才培养和技术水平的提高有所裨益。

冷挤压成形作为一种重要的成形加工方法，在机械、化工、汽车、邮电通信、仪器仪表、文体医疗、军事国防、航空航天、家用电器等领域都具有广泛的应用；其生产的制件具有精度高、复杂度高、一致性高、生产率高和消耗低的特点，有很大的市场需求和广阔的发展前景。

全书共分 8 章。内容包括冷挤压基础、冷挤压件的原材料及毛坯准备、冷挤压零件设计、冷挤压工艺制订、冷挤压模具设计、冷挤压模具结构实例、冷挤压模具制造、冷挤压模具的装配及试模等方面。

本书根据社会对模具人材的需要，结合现代科学技术发展的形势编写而成。本书的特点如下：

(1) 内容力求全面 旨在使读者掌握模具设计与制造方法，了解国内外先进的工艺技术及较成熟的制造方法，为合理设计模具结构及正确选择模具制造方法打下必要的基础。

(2) 体系全面、系统，符合现代教育思想的要求 全书以模具设计与制造技术为主，着重介绍模具结构分析、模具零件的机械加工及特种加工。内容上循序渐进，由浅入深，依次介绍，力求条理清晰，便于讲授和自学。

(3) 重点突出，取材有简有详 对一般的结构设计与零件机械加工方法从简，对在模具制造中占主要地位的特种加工、数控加工技术、模具表面技术、快速制模技术等新工艺新技术从详。

(4) 图、表丰富 书中有大量的经验数据图表，资料完整，文、图、表紧密配合，可供生产中实际应用。

本书作为一本基本理论与生产实际相结合的冷挤压模设计与制造技术书籍，可供从事冷挤压成形加工的工程技术人员、工人使用，亦可作为相关专业在校师生及研究人员的参考书和模具培训班的教材。

在本书编写工作中，刘薇、洪永刚、丁惠珍等工程师们参加了书稿的编写、整理工作，在此表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，书中不妥和错误之处在所难免，恳请广大读者不吝赐教，以便得以修正，以臻完善。

洪慎章
于上海交通大学

目 录

前言	
第1章 冷挤压基础	1
1.1 冷挤压的实质及分类	1
1.2 冷挤压的金属流动规律	7
1.3 冷挤压工艺的优缺点及应用范围	10
1.4 冷挤压技术现状及发展方向	15
第2章 冷挤压件的原材料及毛坯准备	17
2.1 冷挤压用材料	17
2.2 常用的下料方法	18
2.3 毛坯软化处理	19
2.4 毛坯表面处理与润滑	23
2.4.1 冷挤压坯料表面预处理	23
2.4.2 磷酸盐处理	25
2.4.3 草酸盐覆层	28
2.4.4 冷挤压润滑剂	28
第3章 冷挤压零件设计	31
3.1 冷挤压零件的分类	31
3.2 毛坯尺寸计算	33
3.3 冷挤压的变形程度	39
3.4 挤压件的尺寸精度	43
3.5 冷挤压力的计算	45
第4章 冷挤压工艺制订	53
4.1 冷挤压工艺的设计内容及方法	53
4.1.1 工艺设计前的准备工作	53
4.1.2 工艺设计的主要内容和方法	54
4.1.3 成形方法的评价和估算	55
4.2 冷挤压工序的设计原则	56
4.3 冷挤压工艺方案	58
4.4 冷挤压工艺计算实例	63
第5章 冷挤压模具设计	70
5.1 冷挤压模具的分类、构造及设计方法	70
5.2 冷挤压模具结构设计	73

5.2.1	模具结构设计要求及内容	74
5.2.2	模具结构形式的种类	75
5.2.3	模具结构形式的确定	78
5.3	典型模架结构	79
5.4	模具工作部分的设计	84
5.5	组合凹模的应用及计算	94
5.6	模具的固定	101
5.7	模具的配合要求	107
第6章	冷挤压模具结构实例	114
第7章	冷挤压模具制造	206
7.1	概述	206
7.2	常规加工方法	216
7.2.1	锯削	216
7.2.2	车削加工	216
7.2.3	铣削加工	225
7.2.4	刨削加工	229
7.2.5	钻削加工	231
7.2.6	镗削加工	233
7.2.7	磨削加工	235
7.2.8	珩磨	247
7.3	特种加工	248
7.3.1	电火花成形加工	248
7.3.2	电火花线切割加工	251
7.3.3	电解成形加工	252
7.3.4	电解抛光	252
7.3.5	电解修磨与电解磨削	254
7.4	数控加工技术	254
7.4.1	数控加工技术概述	254
7.4.2	常用的数控加工方式	256
7.4.3	模具CAM技术	257
7.4.4	高速切削技术	257
7.5	快速制模技术	258
7.5.1	快速成形技术的基本原理与特点	258
7.5.2	快速成形技术的典型方法	260
7.6	模具表面技术	264
7.6.1	表面强化技术	264
7.6.2	光整加工技术	265

7.7 零件加工检测	267
7.8 模具零件加工的应用举例	268
7.8.1 成形零件的加工	268
7.8.2 模架零件的加工	273
7.8.3 导向机构零件的加工	278
7.8.4 模板类零件的加工	282
第8章 冷挤压模具的装配及试模	288
8.1 冷挤压模具的装配	288
8.2 冷挤压模具的试模	291
附录	295
附录 A 模具材料	295
附录 B 常用压力机技术参数	300
附录 C 模具零件的加工方法	305
参考文献	310

第 1 章 冷挤压基础

1.1 冷挤压的实质及分类

1. 冷挤压工艺的实质

冷挤压的加工方法是利用金属材料塑性变形的原理，在室温的条件下，将冷态的金属毛坯放入装在压力机上的模具型腔内，在强大的压力和一定的速度作用下，迫使金属毛坯产生塑性流动，通过凸模与凹模的间隙或凹模出口，挤出空心或断面比毛坯断面要小的实心零件，可获得所需一定形状及尺寸，还具有较高力学性能挤压件的工艺技术。冷挤压是无切屑或少切屑零件加工工艺之一，所以是近代金属塑性加工中一种先进的加工方法。图 1-1 ~ 图 1.4 分别表示的普通碳素钢缝纫机梭芯套、低碳钢深孔气缸、中碳钢洗衣机齿轮轴及碳素工具钢连接帽都是冷挤压加工出来的。

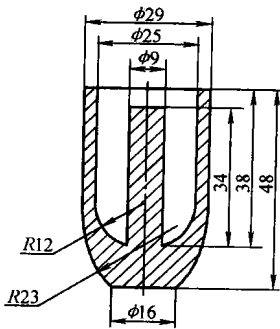


图 1-1 冷挤压普通碳素钢缝纫机梭芯套

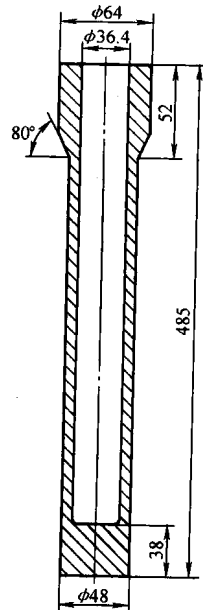


图 1-2 冷挤压低碳钢深孔气缸

从上述所得的产品图中可见，冷挤压成形加工是靠模具来控制金属流动，靠软化金属体积的大量转移来成形所需的零件。由此可知，冷挤压工艺的成功及失败与模具结构设计、模具材料和金属毛坯的软化处理等密切相关。

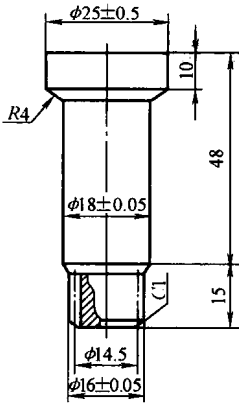


图 1-3 冷挤压中碳钢洗衣机齿轮轴

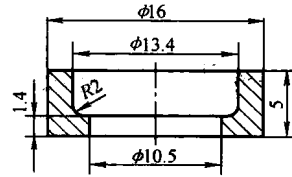


图 1-4 冷挤压碳素工具钢连接帽

冷挤压方法既可用于生产成批的金属零件，也可以加工各种模具的型腔，图 1-5 ~ 图 1-13 为纯铝、防锈铝、硬铝、锻铝、纯铜、无氧铜、黄铜、铬钼钢与轴承钢的冷挤压零件。

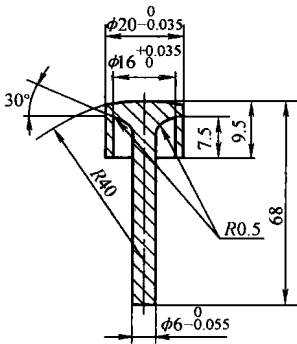


图 1-5 冷挤压纯铝仪表支架

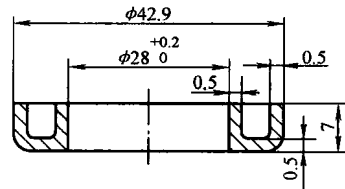


图 1-6 冷挤压防锈铝加压器

冷挤压加工的成形速度范围很广，所用的设备可以在专用的冷挤压压力机上进行，也可在一般的机械压力机（如冲床）或在液压机、摩擦压力机以及高速锤上进行。

2. 冷挤压工艺的分类

冷挤压工艺可按金属流动方向、金属流动速度及变形温度等进行分类。

(1) 按金属流动方向分类 根据冷挤压时金属流动方向与凸模运动方向之间的相互关系，冷挤压方法有以下 7 种。

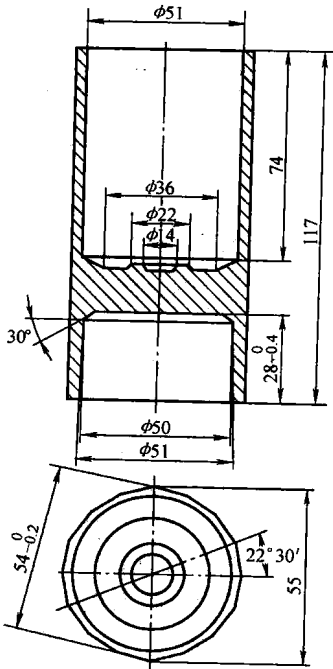


图 1-7 冷挤压硬铝十六角圆筒

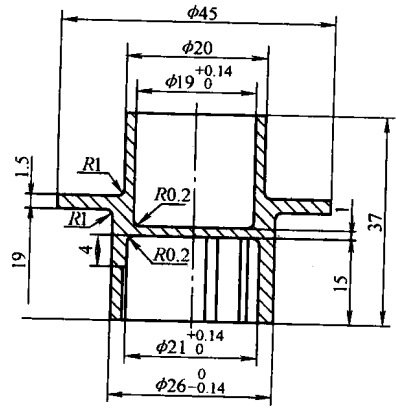
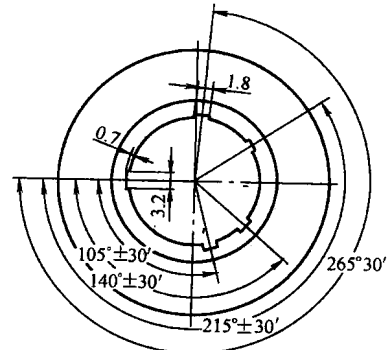


图 1-8 冷挤压锻铝凸缘壳体

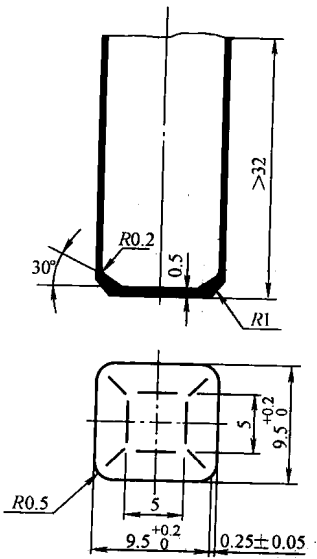


图 1-9 冷挤压纯铜正方薄壁屏蔽罩

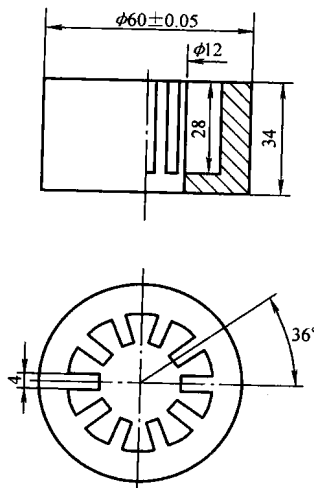


图 1-10 冷挤压无氧铜管座

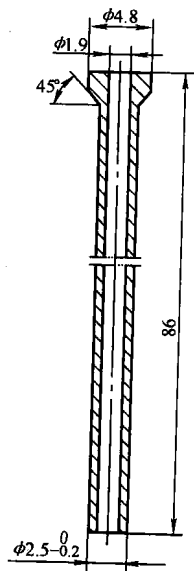


图 1-11 冷挤压黄铜仪表套管

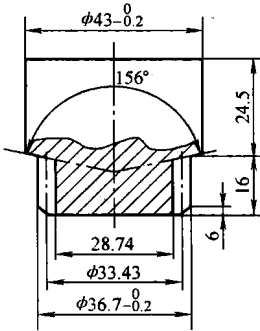


图 1-12 冷挤压铬铝钢小链轮

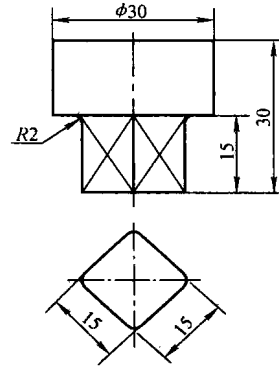


图 1-13 冷挤压轴承钢方身塞头

1) 正挤压。正挤压时金属的流动方向与凸模的运动方向相同。图 1-14 所示为正挤压实心工件的情况。加工时先将毛坯放在凹模内，凹模底上有一个大小与所制零件外径相当的孔，然后用凸模加压力挤压毛坯。凸模的压力使金属进入塑性状态，并强迫金属从凹模的小孔中流出，从而制成所需的工件。一般说来，正挤压可以制造各种形状的实心零件（采用实心毛坯），也可以制造各种形状的空心件（采用空心毛坯或杯形毛坯）。图 1-15 所示为正挤压空心工件的情况，空心工件如螺钉、芯轴、顶杆、支架、管子、套管、弹壳及衬套等。

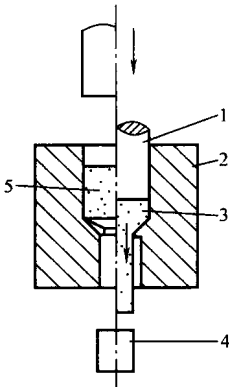


图 1-14 正挤压实心件
1—凸模 2—凹模 3—挤压件
4—顶料杆 5—毛坯

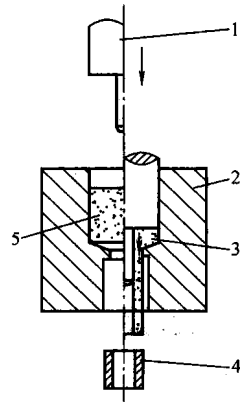


图 1-15 正挤压空心件
1—凸模 2—凹模 3—挤压件
4—顶料杆 5—毛坯

2) 反挤压。反挤压时金属的流动方向与凸模的运动方向相反。图 1-16 所示为反挤压空心杯形工件的过程。加工时把扁平的毛坯放在凹模底上（凹模与凸模在半径方向上的间隙等于杯形零件的壁厚），当凸模向毛坯施加压力时，金属便沿凸模与凹模之间

的间隙向上流动，从而制成所需的空心杯形零件。反挤压方向可以制造各种断面的杯形空心工件，如罩壳、外壳、套筒、套管、屏蔽罩及灯座等。

3) 复合挤压。复合挤压时，毛坯一部分金属流动方向与凸模的运动方向相同，而另一部分金属的流动方向与凸模运动方向相反。图 1-17 所示为复合挤压的工作情况。在凸模的压力作用下，金属向两个不同的方向流动，发生了双向挤出变形。这是正挤压和反挤压组合在一起的一种挤压方法。

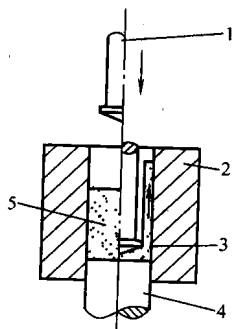


图 1-16 反挤压杯形件

1—凸模 2—凹模 3—挤压件
4—顶料杆 5—毛坯

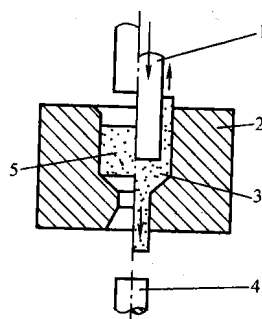


图 1-17 复合挤压

1—凸模 2—凹模 3—挤压件
4—顶料杆 5—毛坯

按照正挤压和反挤压的不同组合方式，可以将复合挤压分成如下三种情况：杆-杆件复合挤压（见图 1-18a），这是反挤压杆形件与正挤压杆形件的组合；杯-杯件复合挤压（见图 1-18b），这是杯形件反挤压与杯形件正挤压的组合；杯-杆件复合挤压（见图 1-17），这是杯形件反挤压与杆形件正挤压的组合。

复合挤压方法可以制造双杯类零件，如汽车活塞销；也可以制造杯杆类零件，如缝纫机梭芯。

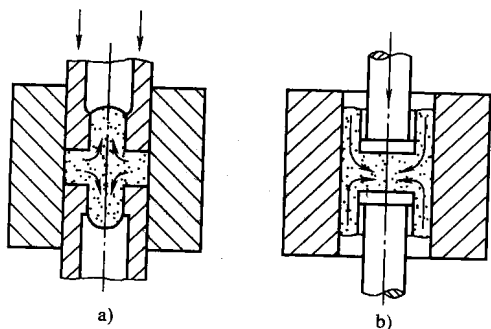


图 1-18 复合挤压的两种类型

a) 杆-杆件 b) 杯-杯件

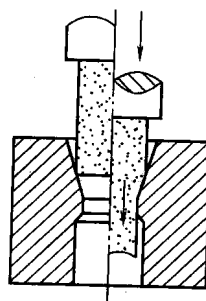


图 1-19 减径挤压

4) 减径挤压。它是变形程度较小的一种变态正挤压法，毛坯断面仅作轻度的缩减。图 1-19 所示为减径挤压的工作情况。减径挤压主要用于制造直径差不大的阶梯轴类零件，以及作为深孔杯形件的修整工序。

正挤压、反挤压、复合挤压与减径挤压是冷挤压方法中应用最广的四种成形方法。这四种方法的金属流动方向都与凸模的轴线平行，因此又统称为轴向冷挤压。

5) 径向挤压。径向挤压时，金属的流动方向与凸模的运动方向相垂直，图 1-20 所示为径向挤压的工作情况。径向挤压又分为离心挤压和向心挤压两种，主要用于制造带凸肩的齿轮坯以及十字轴类零件。图 1-21 所示为用径向离心冷挤压方法生产铝合金零件，金属毛坯在凸模压力的作用下沿径向向外流出。图 1-22 所示通信器材中的铝合金号码盘，内齿是用径向向心挤压法加工的。

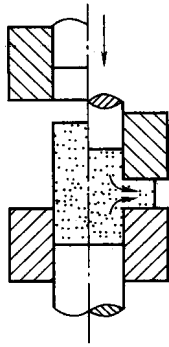


图 1-20 径向挤压

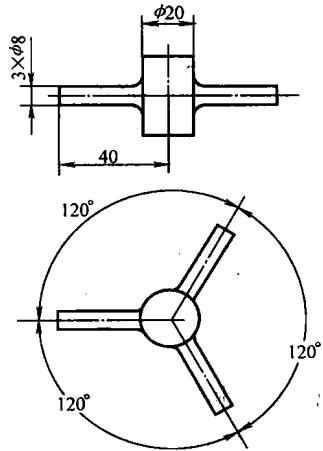


图 1-21 径向离心挤压铝合金零件

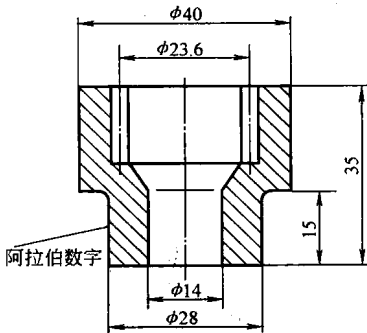


图 1-22 径向向心挤压铝合金号码盘

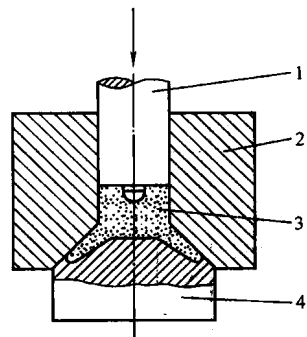


图 1-23 斜向挤压

1—凸模 2—凹模 3—挤压件 4—凹模镶块

6) 斜向挤压。挤压时，金属的流动方向倾斜或弯曲于凸模的运动方向。图 1-23 所示为斜向挤压的工作情况。斜向挤压主要用于制造具有倾斜或弯曲枝芽的各种复杂形状

零件。

7) 镦挤法。变形时, 金属的流动具有挤压和镦粗的特点, 即一部分金属沿凸模轴向流动, 另一部分金属则沿径向流动。它是冷镦与冷挤压相结合的一种成形方法, 称为镦挤法。图 1-24 所示为镦挤法的工作情况。镦挤法主要用于制造大头类零件及阶梯轴类零件。如图 1-25 所示的支承杆就是采用这种镦挤法加工的, 先正挤再镦头部, 把冷挤压与冷镦合并在同一工序中。

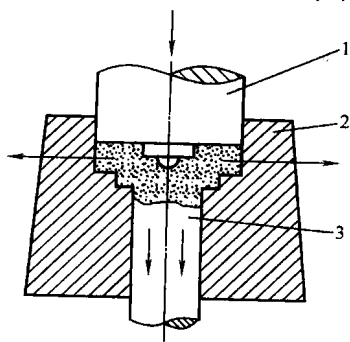


图 1-24 镦挤法

1—凸模 2—凹模 3—挤压件

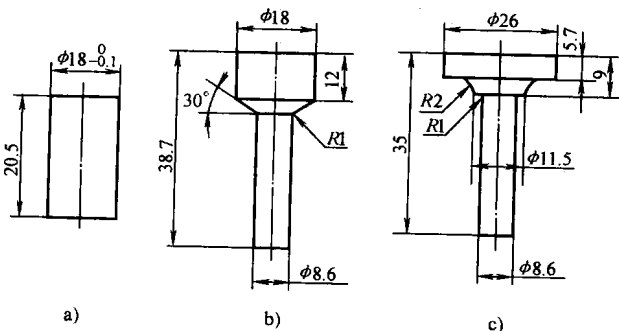


图 1-25 支承杆镦挤

a) 毛坯 b) 挤压 c) 镦粗

(2) 按金属流动速度分类 根据金属坯料充填模具型腔的流动速度, 分为一般速度挤压、低速挤压及高速挤压。

1) 一般速度挤压。这是冷挤压中应用最普遍的一种速度, 速度范围在 $0.5 \sim 2\text{m/s}$, 其设备有冲床、肘杆压力机、摩擦压力机及专用挤压压力机等。

2) 低速挤压。其设备有各种吨位的液压机等, 其速度可达 $0.01 \sim 0.1\text{m/s}$ 。

3) 高速挤压。设备的滑块速度高达 $6 \sim 20\text{m/s}$, 如高速锤、对击锤、空气锤等。

(3) 按变形温度状态分类 从金属塑性变形的温度状态来分, 有冷挤压 (室温挤压)、温挤压 (半热挤压)、热挤压及等温挤压。

1.2 冷挤压的金属流动规律

为了了解各种冷挤压方法的金属流动情况, 现将圆柱体毛坯切成两块, 如图 1-26 所示。在其中的一块剖面上刻上 $5\text{mm} \times 5\text{mm} \sim 20\text{mm} \times 20\text{mm}$ 的正方网格, 将拼合面涂上润滑油, 再与另一块拼合在一起, 进行各种方式的挤压, 就可以看到被挤毛坯内部的金属流动实际情况。

1. 正挤压实心件的金属流动情况

正挤压实心件时, 坐标网的变化情况如图 1-27 所示, 其特征如下:

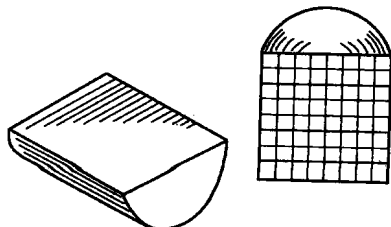


图 1-26 毛坯上的坐标网

1) 横向坐标线在出口处发生了较大的弯曲, 且中间部分弯曲更剧烈。这是由于凹模与挤压金属表面之间存在摩擦力和凹模形状的变化, 致使金属在流动时外层滞后于中层的缘故。被挤毛坯的端部横向坐标线弯曲不大。这是由于该部分金属原来就处在凹模出口附近, 挤压时迅速向外挤出, 受摩擦及模具形状等因素影响较小的缘故。横向坐标线的间距从挤出部分端部开始是逐渐增加的, 即 $l_3 > l_2 > l_1$ 。这就说明挤出金属的纵向拉伸变形越来越大, 而当达到某定值 l_3 时, 间距基本上不再变化, 此时的变形已处于稳定状态。

2) 纵向坐标线挤压后也发生了较大的弯曲。把开始向内倾斜的点阵连成 A—A 线, 把开始向外倾斜的点连成 B—B 线。A—A 线与 B—B 线之间所构成的区域为剧烈变形区。A—A 线以上或 B—B 线以下坐标线基本上不变化, 说明这些区域的金属不发生塑性变形, 只作刚性平移。

3) 在凹模出口转角 D 处的金属, 在挤压过程中不参与流动, 称为金属死区。

4) 正方形网格经过出口处以后, 变成了平行四边形。这说明金属除发生拉伸变形以外, 还有剪切变形。越接近外层剪切角越大, 即 $\gamma_2 > \gamma_3$ 。这是由于外层金属受到摩擦阻力的影响较大以及模具几何形状的影响, 使得内外层金属流动存在着较大差异的缘故。刚开始挤出端部剪切角较小, 以后逐渐增大, 即 $\gamma_2 > \gamma_1$ 。这是由于开始挤压时, 受摩擦影响较小的缘故。当进入稳定变形区以后, 相对应处的剪切角保持不变。

从上述分析可见, 正挤压实心件的变形特点是: 金属进入 A—A 线至 B—B 线之间的区域时才发生变形, 此区称为剧烈变形区。进入此区以前或离开此区以后, 金属几乎不变形, 可以认为是刚性平移。在变形区内, 金属流动是不均匀的, 中心部分流动快, 外层流动慢。当进入稳定变形阶段以后, 不均匀变形程度是相同的。在凹模转角处会产生程度不同的金属死区。

2. 正挤压空心件的金属流动情况

正挤压空心件的金属流动情况如图 1-28 所示。除受凹模工作表面的摩擦影响以外, 还受到芯棒表面摩擦的影响, 因而毛坯上的坐标横线变为向后弯曲的曲线, 不再产生剧烈流动的中心区域。这说明正挤压空心件的金属流动比正挤压实心件均匀。在正常情况下, 剧烈变形区总是集中在凹模锥孔附近不大的高度上, 金属在进入变形区以前或离开变形区以后, 不发

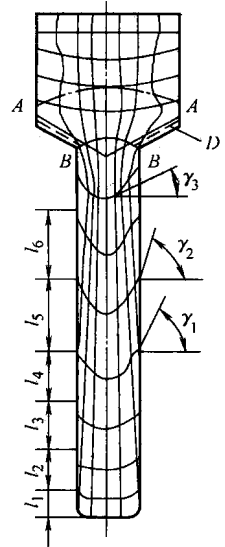


图 1-27 正挤压实心件的金属流动情况

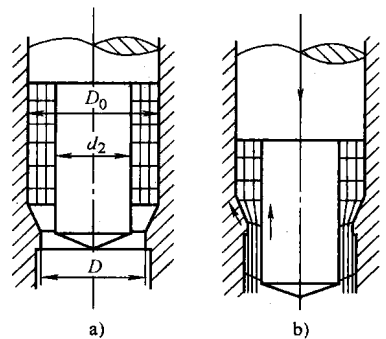


图 1-28 正挤压空心件的金属流动情况
a) 挤压前 b) 挤压中

生塑性变形，只作刚性平移。

3. 反挤压杯形件的金属流动情况

反挤压杯形件的金属流动情况如图 1-29 所示。图 1-29a 表示挤压变形之前的位置。图 1-29b 表示高度大于直径的毛坯进入稳定变形状态时的变形情况。此时可将毛坯内部的变形情况分为三个区域：A 区为金属死区，它紧贴着凸模端面，呈倒锥形。锥形大小随凸模端面与毛坯间的摩擦力大小而变化。这部分金属基本上不产生变形。B 区为剧烈变形区，毛坯金属在这个区域内产生剧烈的流动，该区的轴向界限大约为 $(0.1 \sim 0.2) d_1$ (d_1 为反挤压凸模直径)。当凸模下行到毛坯底部高度大于此界限尺寸时，尽管变形区内的金属产生了强烈的流动，而底部的一部分金属仍保持原状，此时仍处于稳定变形状态。但当凸模再继续往下运动，毛坯残余厚度小于此界限尺寸时，在此残余厚度内的全部金属材料均参与塑性流动，成为如图 1-29c 所示的非稳定变形状态。C 区为刚性平移区，强烈变形区的金属流动至形成杯壁后，就不再变形了，而是以刚体平移的形式往上运动，该运动一直延续到凸模停止工作时为止。

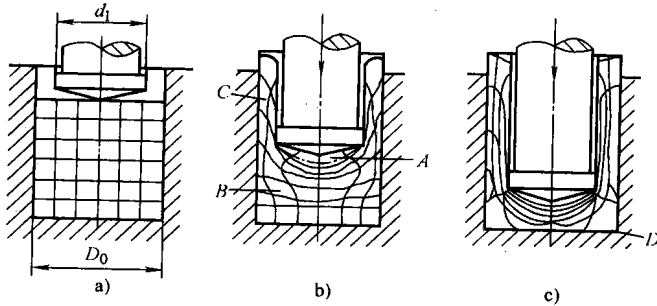


图 1-29 反挤压杯形件的金属流动情况

a) 变形前 b) 变形中 c) 变形后

4. 复合挤压时的金属流动情况

复合挤压时的金属流动情况如图 1-30 所示。在变形区内，有向不同出口流动的区

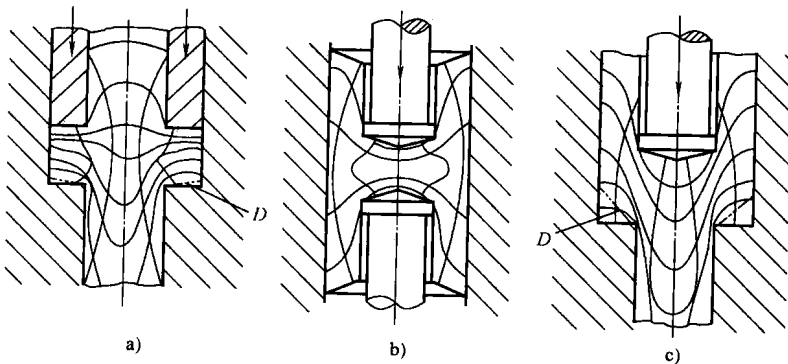


图 1-30 复合挤压时的金属流动情况

a) 杆-杆型 b) 杯-杯型 c) 杯-杆型