

冷挤压工艺实践

杨长顺 编著

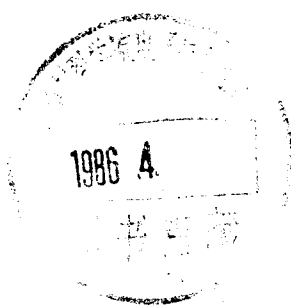
国防工业出版社



77.443
661

冷 挤 压 工 艺 实 践

杨长顺 编著



国防工业出版社

8610358

内 容 简 介

本书从实际应用出发,通过典型实例叙述了低碳钢和硬铝合金冷挤压的技术发展,总结了作者从事冷挤压工艺多年的实践经验,提供了冷挤压工艺和模具设计的必要技术知识。

本书分五篇。第一篇讲述冷挤压的基础知识;第二篇介绍冷挤压工艺设计和变形方案的选择;第三篇阐述冷挤压模具设计的基本理论和方法;第四篇讨论冷挤压生产中的质量问题;第五篇以20个冷挤压零件实例叙述了冷挤压工艺的实际应用。

本书可供从事冷挤压生产和工艺研究等部门的工程技术人员阅读,本书也可供大专院校压力加工专业师生参考。

Dt36/30
18

冷挤压工艺实践

杨长顺 编著

*

国防工业出版社出版

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印装

*

787×1092 $1/16$ 印张 $16\frac{1}{2}$ 382千字

1984年5月第一版 1986年2月第二次印刷 印数: 18,001—17,950册

统一书号: 15034·2642 定价: 2.75元

前 言

冷挤压技术作为一种耗材少、效率高、性能优越的少无切削的加工工艺，在金属压力加工中获得了迅速的发展，在汽车、拖拉机、轴承、仪表、自行车、缝纫机等民用工业以及国防工业系统中的应用日益广泛。在国民经济各个部门里，冷挤压技术显示出巨大的技术优越性和良好的经济效果。

我国冷挤压工艺的试验研究工作始于五十年代末，经过二十来年的发展，可冷挤材料的范围不断扩大，可冷挤零件的品种愈来愈多，可冷挤零件的形状愈来愈复杂，从简单形状的杆件或杯形件，到复杂形状的台阶、凸缘、锥形和齿形类零件，都已成批生产。冷挤压新工艺已经成为不可缺少的加工技术。随着现代科学技术的发展，新型挤压材料、模具新钢种和大吨位专用挤压机的出现，冷挤压的应用范围将日益扩大。

冷挤压作为一门新工艺，仍处于发展过程中。因此，探讨和研究适用于挤压加工的工艺理论，力求对一些很重要的实际问题，做出在应用上足够准确的解释，并提出简便的工艺设计方法以及模具设计方面的实际经验，对进一步推广冷挤压新工艺，具有现实的意义。基于这样的目的，编写了这本“冷挤压工艺实践”，供读者参考。

“冷挤压工艺实践”是在工厂提供的有利条件下，作者利用生产现场获得的工艺科研成果和长期积累的实践经验编写而成的。这些成果实质上凝聚着我厂参加冷挤压研制工作的全体同志的创造性劳动和智慧，作者只不过作了一些整理和归纳的工作。

本书从实际应用观点出发，通过典型生产实例，着重讨论并阐述了冷挤压基础知识、冷挤压工艺、冷挤压模具、冷挤压零件的质量和冷挤压加工实例五个方面，介绍了目前低碳钢和硬铝合金冷挤压技术发展和在生产应用上取得的实践经验，提供了冷挤压工艺和模具设计的必要技术知识。

在编写过程中，作者一直受到我厂各级领导和同志们的关怀和支持，得到我厂工人和工程技术人员的大力协助，作者在此一并致以衷心的感谢。

限于作者业务水平，书中错误不当之处一定不少，敬请读者批评指正。

编 者

目 录

第一篇 冷挤压技术基础		§3 剪切下料77
第一章 冷挤压基础知识 1	§4 毛坯预成形81	第三章 冷挤压工艺方案86
§1 冷挤压技术的应用 1		§1 冷挤压成型的方法86
§2 冷挤压的基本类型 4		§2 冷挤压工艺设计90
§3 冷挤压的变形过程 6		§3 冷挤压工艺方案的制定104
§4 冷挤压工艺的特点 8		§4 典型挤压件的工艺方案设计111
§5 冷挤压变形程度 8		
第二章 挤压过程中金属的流动13		第三篇 冷挤压模具
§1 层流与紊流13		第一章 冷挤压模具设计要求与程序126
§2 研究金属流动的工程试验方法13		§1 模具设计的基本要求126
§3 理想变形与真实变形16		§2 模具设计的一般程序127
§4 正挤压实心件时金属的流动17		第二章 冷挤压模具的分类与构造129
§5 反挤压杯形件时金属的流动19		§1 冷挤压模具的分类129
§6 复合挤压时金属的流动21		§2 冷挤压模具的一般构造129
第三章 冷挤压材料23		第三章 冷挤压模具结构设计131
§1 适合于冷挤压的材料23		§1 模具结构型式的确定131
§2 冷挤压常用材料26		§2 模具的封闭高度132
第四章 冷挤压坯料的软化处理和润滑30		§3 冷挤模主要零部件结构与设计132
§1 软化热处理(退火)30		§4 模具的典型结构144
§2 钢的磷化-皂化处理32		第四章 冷挤压组合凹模的设计151
§3 铝质坯料的润滑处理38		§1 组合模设计的基本理论151
第五章 挤压力及冷挤设备40		§2 组合凹模的设计161
§1 影响挤压力的因素40		§3 组合模的装配工艺170
§2 挤压力的估算46		第五章 冷挤压凸模172
§3 确定挤压力的图解法48		§1 设计的一般原则172
§4 实例分析52		§2 凸模的结构型式172
§5 冷挤压设备的选择53		§3 凸模端部的合理形状173
第二篇 冷挤压工艺		§4 反挤压凸模尺寸设计175
第一章 冷挤压零件设计56		§5 正挤压凸模尺寸设计176
§1 挤压件图的设计56		§6 凸模的技术条件177
§2 冷挤压零件的要求56		第六章 冷挤压模具材料178
§3 挤压件的尺寸60		§1 模具材料的基本性能178
§4 加工余量与基准66		§2 模具常用材料178
§5 技术条件的制定67		§3 模具的热处理181
§6 挤压件设计实例67		第七章 模具的损坏与预防措施183
第二章 冷挤压毛坯制备70		§1 凸模的损坏与预防措施184
§1 毛坯的形状和尺寸70		§2 凹模的损坏与预防措施186
§2 毛坯的下料方法75		

第四篇 冷挤压零件的质量		第三章 复杂锥形零件的冷挤压	230
第一章 冷挤压零件的精度	188	§1 简单浅直孔锥形件的镦挤成形	230
§1 挤压件的尺寸精度	188	§2 简单深直孔锥形件的镦挤成形	231
§2 冷挤压零件的形状精度	193	§3 阶梯孔锥形件的镦挤成形	232
§3 挤压件的表面光洁度	194	§4 深孔变壁厚锥形件的挤压成形	235
第二章 冷挤压件的表面缺陷和疵病	196	§5 双向有孔锥形件的挤压成形	239
§1 冷挤压件的表面缺陷	196	第四章 扁平形状零件的冷挤压	242
§2 冷挤压零件的常见疵病	197	§1 细小深孔扁平零件的冷挤压	242
§3 冷挤压裂纹	204	§2 浅锥形孔扁平形状零件的冷挤压	243
第三章 冷挤压零件的机械性能	211	第五章 阶梯形零件的冷挤压	245
§1 冷挤压的强化效果	211	§1 阶梯形空心件的复合挤压	245
§2 挤压件的强化热处理	214	§2 双向有孔阶梯形零件的冷挤压	248
第五篇 冷挤压加工实例		§3 梯形孔复杂锥体的冷挤压	249
第一章 杆形件冷挤压	217	第六章 齿形、凸缘及轴对称形	
§1 小型精密杆形件的冲挤成形	217	零件的冷挤压	251
§2 杆形件的挤压成形	219	§1 齿形套筒的冷挤压	251
§3 复杂头部长杆形零件的镦挤联合成形	220	§2 凸缘类深孔筒形件的镦挤联合成形	253
第二章 杯形件及深孔筒形件的		§3 中间带有凸缘的杆-杯形件的复合	
冷挤压	224	挤压成形	255
§1 浅杯形件的冲挤成形	224	§4 具有贯穿槽口的零件的冷挤压	256
§2 杯形件的挤压成形	225	参考文献	258
§3 深孔筒形件的挤压成形	226		

第一篇 冷挤压技术基础

第一章 冷挤压基础知识

§1 冷挤压技术的应用

冷挤压是利用塑性变形的原理用模具将处于常温的毛坯压制成具有一定尺寸、形状和性能的零件的工艺技术。五十年代初期,冷挤压技术还只用来制造简单的有色金属零件。六十年代中期,一些形状较为复杂的黑色金属实心件(图1-1)和空心件(图1-2),也开始用冷挤压来制造了。七十年代,可冷挤压零件的种类(或形状)更多了,如图1-3、图1-4、图1-5和图1-6所示。供冷挤压的材料品种也大大扩大了。许多低合金钢以及不锈钢和低塑性的硬铝、锻铝等均可进行冷挤压。

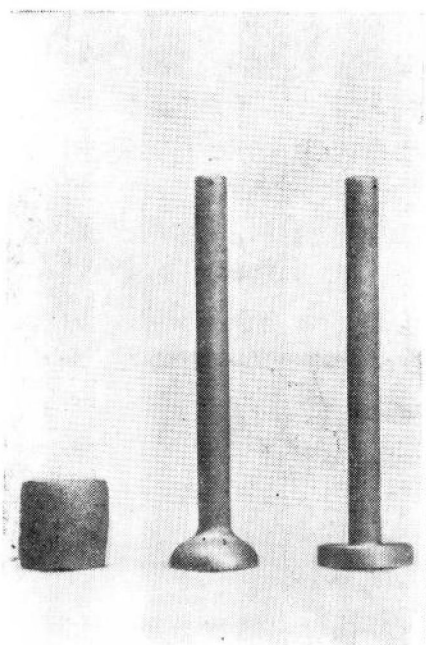


图1-1 实心件的冷挤压

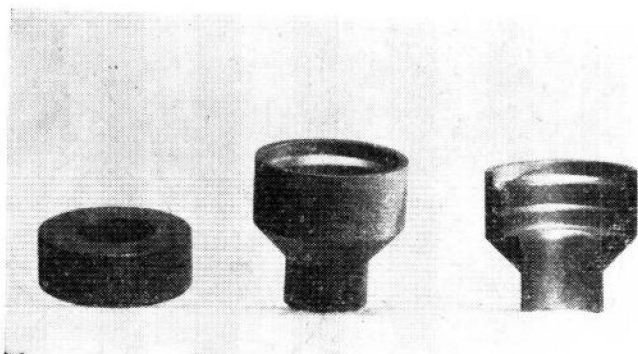


图1-2 空心件的冷挤压

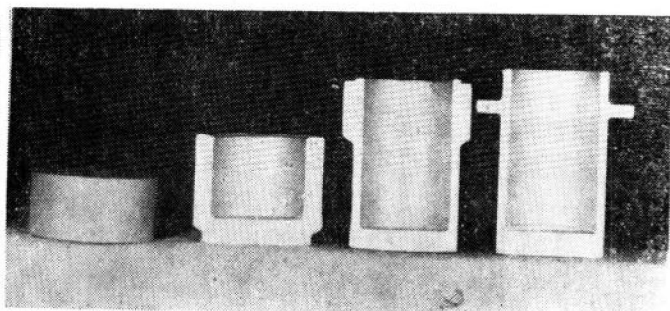


图1-3 凸缘类零件冷挤压

冷挤压技术的迅速发展和广泛应用,充分说明这种少无切削成形技术的优越性。冷挤压的零件尺寸精度高、强度性能好、耗材少,生产效率比切削加工高几倍,甚至几十倍,与铸造、锻造相比较,可降低制造成本10~20%,而且容易实现自动化。图1-7所示锥形挤压件,原来在自动车床上加工,大量金属变成了废屑,材料利用率不到30%。采用冷挤

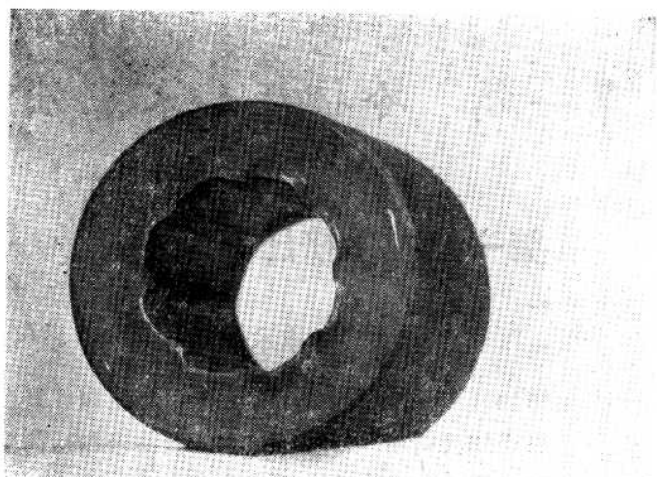


图1-4 内花键齿的冷挤压

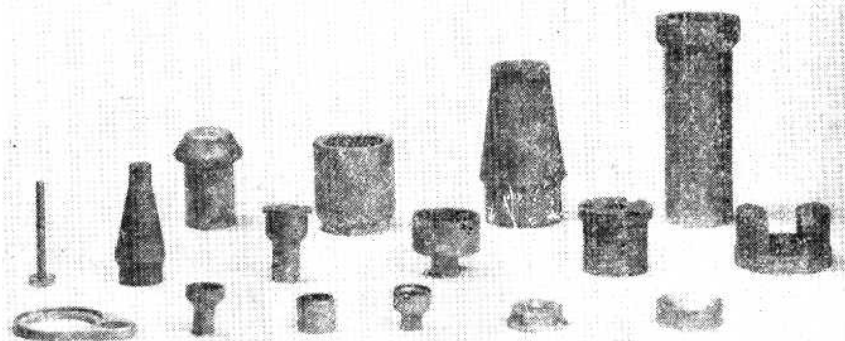


图1-5 低碳钢冷挤压零件

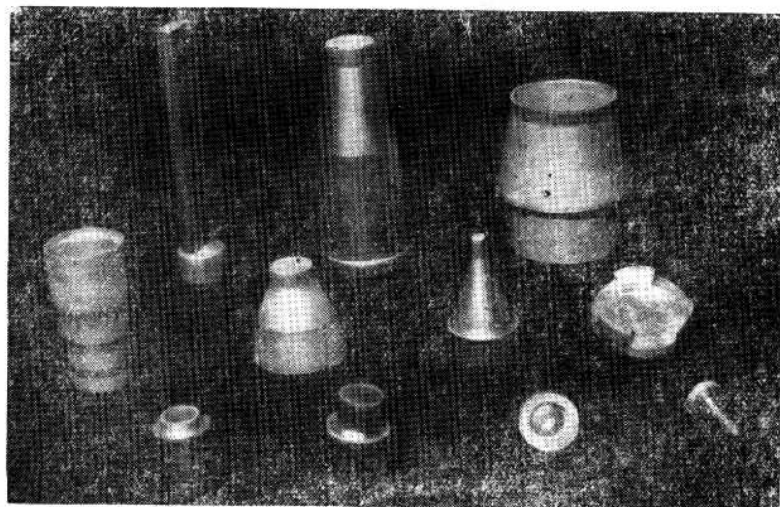


图1-6 硬铝合金冷挤压零件

压加工后，材料利用率提高到70%以上，原来切削加工一个零件的材料现在可生产出两个零件，图 1-8 便是两种加工方法的材料消耗对比。

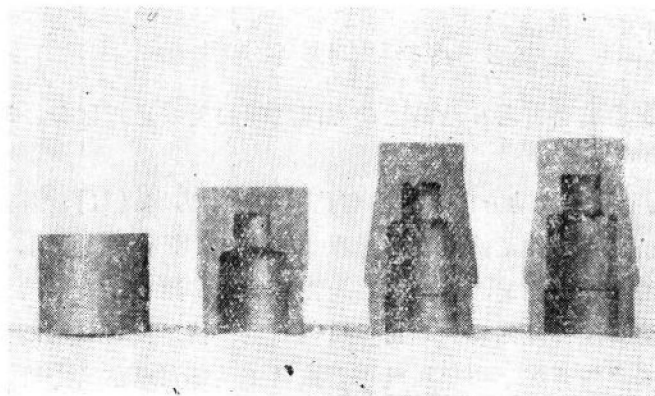


图1-7 锥形件的冷挤压

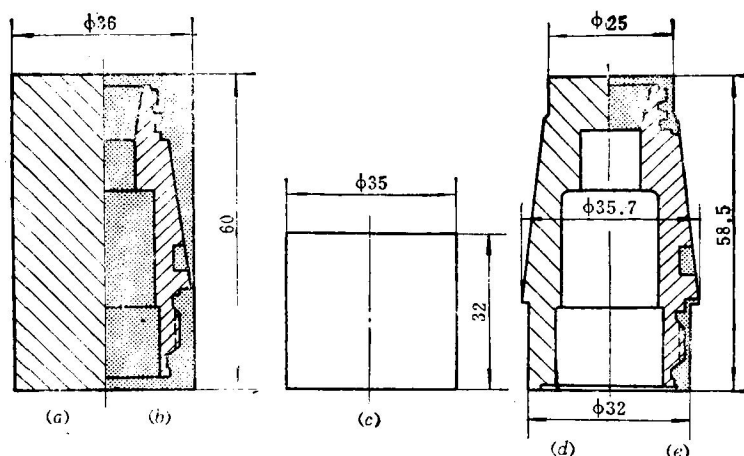


图1-8 冷挤压与切削加工材料消耗对比

a—切削加工棒料；b—成品零件的切削加工；c—冷挤压坯料；d—冷挤压件；
e—挤压件的切削加工（图中阴影部分为切削加工余量）。

随着冷挤压技术的不断发展，挤压件的尺寸和重量越来越大，材料强度越来越高，所需挤压力及设备吨位也越来越大。因此，设计和制造适应冷挤压工艺特点的、大吨位的专用挤压机，成为当前国内外挤压设备发展的主要趋向。然而，目前大吨位专用挤压机的研制和生产，远不能满足冷挤压工艺迅速发展的需要。因此，努力发挥和挖掘现有设备的潜力，在与自己设备相适应的条件范围内组织冷挤压生产，是符合现实情况的。

同时，为了要在新的领域和各个工业部门不断扩大冷挤压工艺的应用范围，还应寻求新的工艺途径。例如，采用冷挤和冷锻联合工艺加工空心或实心件；采用正挤一变薄引伸生产薄壁筒（管）；采用板料精密冲裁，之后进行挤压的冲挤法；采用中温挤压等等。在 $100\sim 650^{\circ}\text{C}$ （钢的再结晶温度以下）温度范围进行挤压，称为中温挤压或温热挤压，用这种挤压方法可以扩大冷挤压的应用范围。冷热相结合的工艺方法（即首先温热挤压出大致

的形状, 随后利用冷挤压精校尺寸、提高性能和表面光洁度) 很适于高碳、高合金钢的挤压; 这将使零件在向大尺寸、高强度发展过程中, 在设备、模具寿命上遇到的困难都会小些。各种工艺方法的组合, 以及新的温热挤压技术的发展, 为挤压生产将开辟新的途径。

§ 2 冷挤压的基本类型

按照挤压时金属的流动方向和凸模运动方向之间的关系进行区分, 冷挤压变形方式主要有三种基本类型:

1. 正挤压 凡金属的流动方向 (B) 与凸模的运动方向 (A) 相同的变形方式, 称为正挤压, 或称做顺挤。实心件正挤压变形过程如图 1-9 a 所示。挤压时, 凸模挤压金属毛坯, 迫使其从凹模的小孔中流出, 近而获得所需形状的挤压件。变形结束后, 凸模恢复到原始位置, 顶料杆将挤压件从凹模内顶出。可以看到, 挤压使材料的断面积发生了很大变化, 材料体积进行了重新分配。正挤压既可制造各类头部形状的实心杆形件 (图 1-1), 也可以制造管形及深孔筒形件。

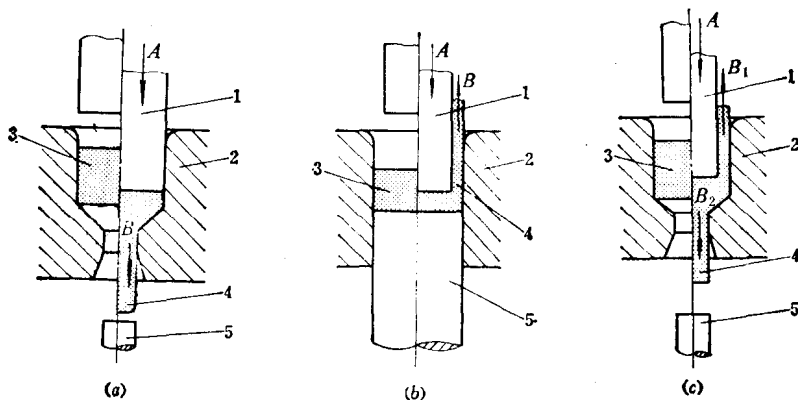


图 1-9 基本变形方式示意图

1—凸模; 2—凹模; 3—毛坯; 4—挤压件; 5—顶料杆。

2. 反挤压 反挤压时 (图 1-9 b), 毛坯在凸模的压力作用下, 迫使金属在凸模和凹模之间的环形间隙里被挤出向上流动 (B), 与凸模的作用方向 (A) 相反。因此凡金属的流动方向, 与凸模的运动方向相反的变形过程, 称为反挤压。反挤压主要用来制造各类杯形件。

3. 复合挤压 (图 1-9 c) 复合挤压时, 一部分金属的流动方向 (B_2) 与凸模运动方向 (A) 相同, 另一部分金属的流动方向 (B_1) 则与凸模运动方向相反。就是说, 在凸模的压力作用下, 金属向着两个不同的方向流动, 发生了双向挤出变形。这是正挤和反挤组合在一起的一种挤压方法。按照正挤压和反挤压的不同组合的方式, 可以将复合挤压分成如下三种情况: 杆-杆件复合挤压 (图 1-10 a), 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 (图 1-10 b), 这是杯形件反挤与杯形件正挤的组合; 杯-杆复合挤压 (图 1-9 c), 这是杯形件反挤与杆形件正挤的组合。

采用复合挤压, 可以制造中间带隔的, 双向有孔的, 以及具有台阶、突肩类的复杂形

状的零件。

根据以上所述可知, 实心杆既可以采取正挤压成形, 也可以采取反挤压成形(图1-11)。

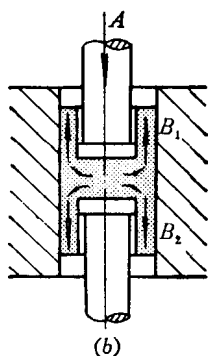
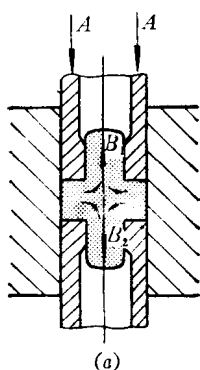


图1-10 复合挤压的两个基本类型

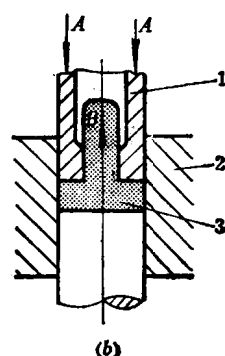
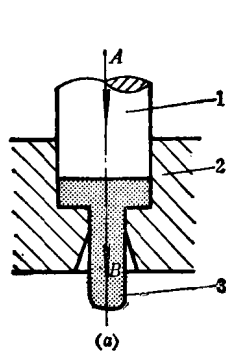


图1-11 实心杆的两种成形方法

a—正挤压; b—反挤压。1—凸模; 2—凹模; 3—挤压件。

反挤压成形时, 凸模即相当于成形模腔, 是一个无预应力作用的空心套结构; 由于其强度不足, 极易损坏。因此, 实心杆的成形仍应以正挤压(图1-11 a)为主。同样, 杯形件也可以采取正挤压和反挤压两种成形方法进行加工(图1-12)。正挤压成形方法(图1-12 b)的模具结构比较复杂, 尤其是在杯形件的孔较深的时候, 这势必要使冲头加长, 退料行程加大, 而对模具寿命产生不良影响。实践证明, 在毛坯精度相同的情况下, 采用正挤压并不能明显提高杯形件内孔与外圆的同轴度, 即壁厚精度。分析受力情况不难发现, 反挤时(图1-12 a)挤压力($P_{\text{反}}$)为变形抗力(P_N)与摩擦力(P_f)之差, 摩擦力有助于减小变形力; 正挤压时(图1-12 b), $P_{\text{正}} = P_N + P_f$, 显然 $P_{\text{正}} > P_{\text{反}}$, 差值通常为 15% 左右。所以, 杯形件采用反挤压成形是合理的。

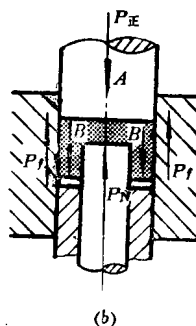
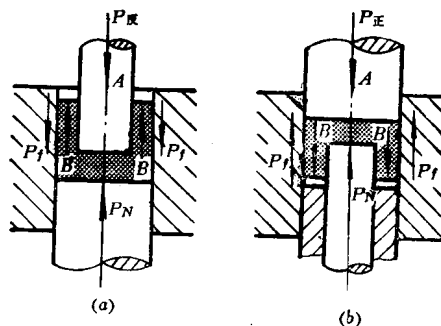


图1-12 杯形件的两种成形方法

a—反挤压; b—正挤压。

以上谈到的正挤、反挤和复合挤压三种变形方式是最基本的, 在生产实践中遇到的情况要复杂得多。一个比较复杂的零件, 往往需要采取几种变形方式, 经过多道工序方能最终成形。图 1-3 所示带凸缘筒形件, 就是采用三种成形方法, 用三道工序制造的。第一道成形工序是内孔反挤和底部台阶正挤相结合的复合挤压, 当然反挤压为变形的主要趋向。第二道成形工序是空心件的正挤压。最终工序是成形凸缘, 采用镦挤结合, 主要变形是冷镦

粗。对于某一具体零件，采用哪一种成形方法，哪种组合方式最为合理，将主要取决于零件的复杂程度。这一问题将在工艺方案设计中讨论。

§3 冷挤压的变形过程

冷挤压的变形过程，大体上可分为四个阶段，即：（1）充满阶段；（2）开始挤出阶段；（3）稳定挤压阶段；（4）終了挤压阶段。下面利用图 1-13 来说明实心杆正挤压时的实际变形情况。

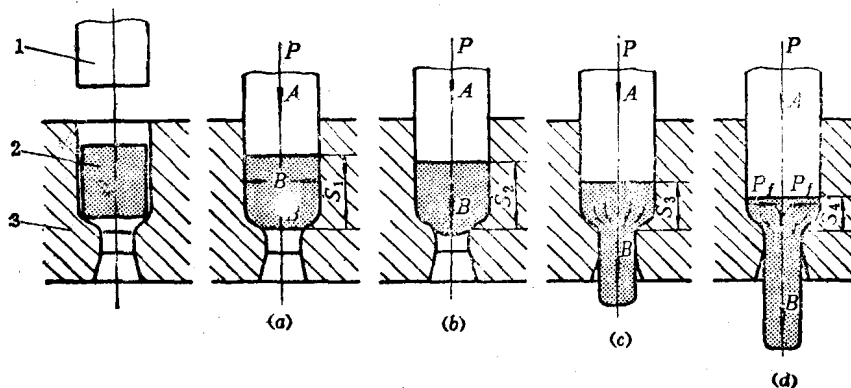


图1-13 正挤压变形的各个阶段

a—充满模腔；b—挤压开始；c—挤压过程；d—挤压終了。1—凸模；2—毛坯；3—凹模。

第一阶段（图1-13 a）是材料充满凹模的过程。自由放入凹模型腔内的圆柱形毛坯，与模腔之间存在着一个不大的工艺间隙。挤压开始时，凸模压到毛坯上，材料被墩粗，产生径向流动而逼近模壁，直至充满模腔为止。在毛坯尚未穿过凹模的成形刃带之前，挤压力始终是增加的，这相当于正挤压的压力行程曲线（图1-14）中的 OA 段。

模腔充满之后，凸模继续挤压毛坯将其挤至凹模孔口。在这个阶段里（图1-13 b），变形区域逐渐扩大，已经集中到凹模入口处的金属坯料开始挤入模孔，此时挤压力在瞬间达到了最大值（图 1-14 中 B 点）。

第三阶段（图1-13 c）凸模向下移动，变形区高度逐渐减小（ $S_2 \rightarrow S_3$ ），金属从模孔中连续挤出。这是挤压工作稳定进行的情况。由于毛坯与模壁间摩擦面积的减小及变形热效应的影响，挤压力下降，下降的数值有时可达 12~16%。这样，继最初的压力行程曲线（图1-14）上升之后，出现了一定斜度的直线部分（ BC 段）。

在最后的第四阶段（图1-13 d），由于挤压残留尾部厚度的减小（ $S_3 \rightarrow S_4$ ），变形遍及与凸模端头相连的整体，即变形区域扩大到整个毛坯。在这个阶段观察到挤压力的增大（图 1-14 中 CD 段）。这可以用毛坯不高时凸模端面的摩擦力（ P_f ）引起金属流动的附加制动，以及由于残留尾部厚度（ S_4 ）过小而使变形抗力

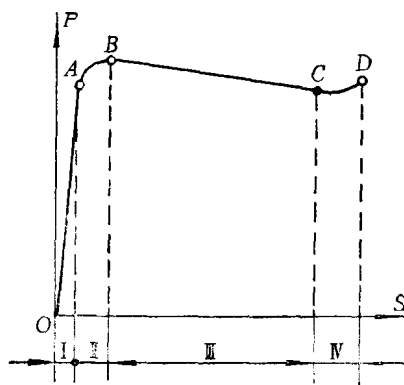


图1-14 正挤压的压力行程曲线

增大来解释。挤压的残留厚度 (S_1) 越小, 挤压力越大。实际上, 当残留厚度小于杆部直径的一半以下时, 与挤压残留厚度比较大的情况比起来, 挤压力要增大15~20%。

反挤压的变形过程如图 1-15 所示。第一阶段 (a), 在凸模的作用下, 毛坯镦粗并充

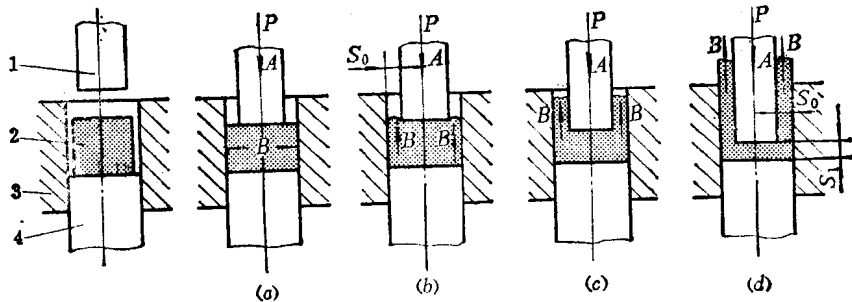


图1-15 反挤压变形的各个阶段
1—凸模; 2—毛坯; 3—凹模; 4—顶杆。

满凹模的空间, 此时挤压力急剧上升, 相当于压力行程曲线中的 OA 段 (参见图 1-14)。第二阶段 (b), 在凸模的继续作用下, 金属便进入凸模与凹模之间的环形间隙里 (S_0), 开始向上流动 (B), 此时挤压力达到最大值, 即相当于压力行程曲线中的 B 点。第三阶段 (c), 毛坯在凸模的持续作用下, 沿着凸模和凹模之间的间隙不断向上流动, 此时, 挤压力则保持不变, 即对应于正挤压压力行程曲线中的 BC 段。第四阶段 (d), 当凸模接近到底厚 (S_1) 相当于壁厚 (S_0) 时, 由于强烈变形引起的热效应, 挤压力有所下降。在挤到底厚小于壁厚时, 由于变形抗力增加, 摩擦加大, 挤压力又很快升高, 如压力行程曲线中的 CD 段。

从正挤压的压力行程曲线中可以看到, 变形的第三阶段, 挤压力变化较为平稳, 金属坯料处于稳定的流动状态, 是正常挤压的变形过程, 研究这一过程是设计者的主要任务。通常计算的挤压力, 就是指这一阶段的压力的。

复合挤压时的变形过程, 如图 1-16 所示。图中所示是一个典型的杯-杆型复合挤压件。

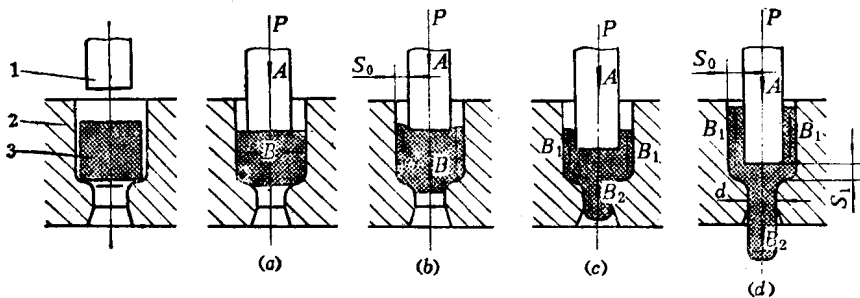


图1-16 杯-杆型零件复合挤压变形过程
1—凸模; 2—凹模; 3—毛坯。

第一阶段 (a), 毛坯镦粗并充满模腔。第二阶段 (b), 变形金属同时进入凸模与凹模之间的环形间隙及凹模出口处, 开始双向流动, 此刻挤压力达到最大值。第三阶段 (c), 金属沿上 (B_1)、下 (B_2) 两个方向, 均衡、自由地流动, 压力变化平稳。最后的第四阶段

(d), 当挤压金属的残留厚度, 即凸模与凹模的相对位置尺寸 S_1 小于某一数值时, 挤压力将明显增高。这一数值对于杯-杆型挤压件是 $S_1 \geq S_0$ 及 $S_1 > 1/2 d$; 对于杯-杯型挤压件来说, 其中间隔厚 (S_1) 应不小于壁厚 (S_0) 的两倍, 即 $S_1 \geq 2S_0$ 。

实际上, 由于受到零件的几何形状、变形程度和摩擦条件等因素的影响, 复合挤压时的变形过程是极其复杂的。

§4 冷挤压工艺的特点

冷挤压时, 要使室温状态下的金属产生必要的塑性流动, 就需要相当大的挤压力。即使挤压很小的零件, 单位压力也比较高, 一般为 $200 \sim 250$ 公斤/毫米², 甚至更高, 远远超出一般压力加工时的单位压力。此压力又几乎作用于中心, 成为相当大的集中载荷, 而且作用时间很长, 这是区别于其它成形方法的最为突出的特点。

其次, 冷挤压加工时毛坯处于三向压应力的作用下, 材料的塑性可大大提高。因而由材料塑性所决定的变形程度亦可大为提高。例如, 20号钢的正挤压变形程度达到86%; 反挤压达到了74.5%; 铝及铝合金则可达到95%以上。所以说, 采用冷挤压工艺所能获得的许用变形程度(见下节)比其他类型的塑性加工方法的都要高。一次挤压成形就可用来代替多道拉伸、冷镦或模锻等复杂工艺过程, 这样便可简化生产, 缩短加工流程。

再有, 挤压时, 模具要承受金属的巨大负荷, 在金属流动过程中, 还受极大的摩擦力和温度变化的作用。在连续工作条件下, 变形热与摩擦热使模具温度达 $200 \sim 300^\circ\text{C}$ 。可见, 冷挤压模具是在极其严酷的条件下工作的。因此, 采取良好的润滑措施以降低摩擦和发热, 比起其他任何一种加工方法显得更加重要。

最后, 由于冷挤压对材料有强烈的加工硬化作用, 因此可以大大提高挤压件的机械性能: 挤压后强度可提高一倍左右, 硬度可达到原始毛坯硬度的两倍以上, 加工硬化的剧烈程度也远远超过其他任何一种成形工艺。

由上述可知, 冷挤压加工具有很大的优越性及应用潜力。不过, 冷挤压时的高温、高压和较高的摩擦, 将使冷挤压的材料、形状和尺寸受到某些限制; 这种工艺方法对工具和设备的要求也较高。因此, 必须针对这些特点, 采取有效的工艺措施, 设计结构合理的模具。

§5 冷挤压变形程度

在冷挤压变形过程中, 毛坯的尺寸、形状都要发生变化, 变化的大小, 即为变形程度, 也称为变形率, 通常用断面缩减率来表示。其定义为: 挤压前、后的横断面积差与毛坯横断面积之比的百分数, 即:

$$\varepsilon_A = \frac{A_0 - A_1}{A_0} \times 100\% \quad (1-1)$$

式中 A_0 ——冷挤压变形前毛坯的横断面积 (毫米²);

A_1 ——冷挤压后工件的横断面积 (毫米²)。

变形程度是冷挤压工艺计算与设计的主要参数, 是衡量挤压压力的重要因素, 变形程度愈大, 则挤压力愈大。从模具钢的寿命及承载能力来考虑, 目前认为凸模所能承受的最

大单位压力为 $200 \sim 250$ 公斤/毫米²。如果变形程度过大, 就会使工具负载过大而破坏, 或使零件破裂。

为了可靠地判断冷挤压成形方法的效果, 弄清楚各种金属冷成形的可能性和变形程度是特别重要的。选取的变形程度必须控制在容许的数值范围内, 一些资料提供的数值, 可做为选取变形程度时参考。反挤压杯形钢件时的许用变形程度分别为

$$\varepsilon_{A\max} = 0.60 \sim 0.75$$

$$\varepsilon_{A\min} = 0.35 \sim 0.15$$

前者属于难变形钢, 而后者属于易变形钢。挤压高塑性的有色金属时, 许用变形程度可以相应提高; 对于纯铝 L3, $\varepsilon_{A\max} = 0.98$ 和 $\varepsilon_{A\min} = 0.1$ 。值得注意的是, 凸模上的应力在变形程度增大或减小时都比 $\varepsilon_A = 0.5$ 时的大, 这点在模具设计中十分重要。

采用正挤压方法, 凸模上的应力随着变形程度的增加而变大, 在 $\varepsilon_A = 0.80 \sim 0.85$ 时超过 200 公斤/毫米²。通常, 在挤压低碳钢零件时, 被挤压出的棒材直径不能小于凹模直径的一半, 相当于 $\varepsilon_A = 0.75$ 。对于具有高塑性的材料, 可以达到较大的数值, 如铝 L3 的 $\varepsilon_A = 0.95$ 。

碳钢及某些低合金钢的许用变形程度可按表 1-1 查取。有色金属的许用变形程度见表 1-2。

表1-1 低碳钢及低合金钢的许用变形程度 $\varepsilon_A(\%)$

钢 号	反 挤 压	正 挤 压	自 由 锻 粗
10	75~80	82~87	75~81
15	70~73	80~82	70~73
35	50	55~62	63
45	40	45~48	40~45
15Cr	42~50	53~63	53~60
34CrMo	40~45	50~60	50~60

表1-2 有色金属的许用变形程度 $\varepsilon_A(\%)$

材 料	反 挤 压	正 挤 压	自 由 锻 粗
纯铝	97~99	97~99	~96
铝合金LF3	92~98	95~98	~92
LY11	75~82	92~95	~50
黄铜	75~78	75~87	73~80

此外, 还可以利用图表或公式来确定和计算材料的许用变形程度。正挤压黑色金属时, 许用变形程度与坯料退火后的布氏硬度呈线性关系。毛坯的原始硬度越高, 正挤压的许用变形程度越小。可以按图 1-17 决定许用变形程度。图线绘制的原始条件是: 毛坯高度与直径之比为 $h_0/d_0 = 1$, 正挤压凹模锥角 $\alpha = 120^\circ$ 。考虑到毛坯相对高度及凹模锥角的变化对许用变形程度的影响时, 应当对从图中查取的变形程度进行修正。一般是毛坯的相对高度

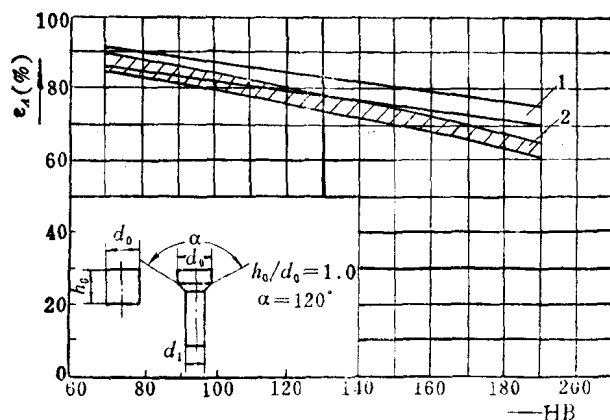


图1-17 黑色金属正挤压的许用变形程度

1—许用单位挤压力250公斤/毫米²；2—许用单位挤压力200公斤/毫米²。

愈大，许用变形程度就愈小。在合理的范围内，减小入模角，有利于许用变形程度的提高。变形程度的修正值，一般在0.7~1.05的范围内，而初始条件的标准值则为1。亦可采用下述直线方程求出：

$$\varepsilon_{A(250)\max} = (86 \sim 91) - 0.14(\text{HB} - 70) \% \quad (1-2)$$

$$\varepsilon_{A(200)\max} = (85 \sim 90) - 0.2(\text{HB} - 70) \% \quad (1-3)$$

式中 $\varepsilon_{A(250)\max}$ ——相应于许用单位压力为250公斤/毫米²的最大许用变形程度(%)；

$\varepsilon_{A(200)\max}$ ——相应于许用单位压力为200公斤/毫米²的最大许用变形程度(%)；

HB——钢材退火后的布氏硬度。

黑色金属反挤压的许用变形程度，包括最大变形程度与最小变形程度两个意义。最大变形程度随坯料硬度的增加而减小，最小变形程度随坯料硬度的增加而上升。亦可按图1-18及相应公式来决定许用变形程度，即

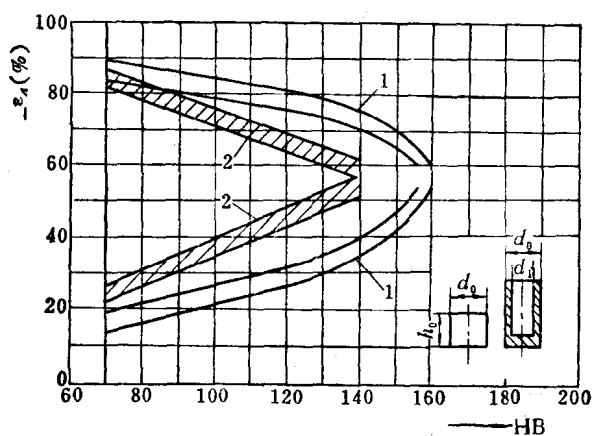


图1-18 黑色金属反挤压许用变形程度

1—许用单位压力为250公斤/毫米²；2—许用单位压力为200公斤/毫米²。

$$\varepsilon_{A(250)\max} = (55 \sim 60) + 3.2\sqrt{160 - \text{HB}} \% \quad (1-4)$$

$$\varepsilon_{A(250)\min} = (55 \sim 60) - 4.46\sqrt{160 - \text{HB}} \% \quad (1-5)$$

$$\varepsilon_{A(200)\max} = (82 \sim 87) - 0.36(\text{HB} - 70) \% \quad (1-6)$$

$$\varepsilon_{A(200)\min} = (22.5 \sim 27.5) + 0.43(\text{HB} - 70) \% \quad (1-7)$$

上式各代号的意义同前述。

从图 1-18 看到, 最大变形程度 $\varepsilon_{A(250)\max}$ 与最小变形程度 $\varepsilon_{A(250)\min}$ 上下两抛物线相会于 HB 160 处。由此可知, 在模具许用单位挤压力为 250 公斤/毫米², 相对高度 $h_0/d_0 = 1$ 的条件下, 对布氏硬度 $\text{HB} > 160$ 的钢毛坯进行反挤压是比较困难的。当 $h_0/d_0 < 1$ 时, 应当考虑毛坯相对高度对许用变形程度的影响。就影响的效果而言, 随着毛坯相对高度的减小, 许用变形程度有所提高, 但提高甚小。在最小许用变形程度方面, 降低毛坯相对高度 (h_0/d_0 由 1.0 减小) 能使最小变形程度减低。

实际生产中, 有时挤压零件的变形程度超过上述界限。我们知道, 即使在许可的变形范围内, 有些模具的寿命也很低。因此, 在按上述经验数据、图表或计算式确定与选取许用变形程度时, 还必须考虑零件几何形状的复杂程度、材料性能及热处理工艺因素的稳定性、生产批量的大小、工艺方案和模具设计的合理性, 以及许多其它因素的影响。

此外, 变形程度亦可用挤压比来表示, 它的定义是坯料与挤压件横断面积之比。当挤压比用对数表示时, 又称为对数塑性变形, 在计算中用的场合也不少。

挤压比

$$\gamma = \frac{A_0}{A_1} \quad (1-8)$$

对数塑性变形

$$R = \ln \gamma = \ln \frac{A_0}{A_1} \quad (1-9)$$

显然, 挤压比与断面缩减率之间存在着一定的关系:

$$\varepsilon_A = \frac{A_0 - A_1}{A_0} = 1 - \frac{A_1}{A_0}$$

则

$$\varepsilon_A = 1 - \frac{1}{\gamma} \quad (1-10)$$

同样

$$\gamma = \frac{1}{1 - \varepsilon_A} \quad (1-11)$$

例如, 断面缩减率 $\varepsilon_A = 50\%$ 时, 则 $\gamma = 2$ 。经过简化、整理后, 基本变形方式下变形程度的计算和表示方法可归纳成表 1-3。