

冷
温
挤
压
技
术

冷温挤压技术

吴诗惇 编著

图
书
编
号
15374
版
社

国防工业出版社

TG 376.3
V93

385620

冷温挤压技术

吴诗惇 编著



TG376.3
V93

国防工业出版社

·北京·

DV58/02

图书在版编目(CIP)数据

冷温挤压技术/吴诗惇编著. —北京:国防工业出版社,1995.9

ISBN 7-118-01287-4

I. 冷… I. 吴… II. 挤压 N.TG376-3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(94)第 02805 号



国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号)

(邮政编码 100044)

新华书店经售

北京怀柔新华印刷厂印刷

开本 787×1092 1/16 印张 12% 289 千字
1995 年 9 月第 1 版 1995 年 9 月北京第 1 次印刷
印数:1—3000 册 定价:15.60 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

前 言

作者早在 70 年代初,就在我校金属塑性加工专业为学生创设并开始讲授冷温挤压课程,同时开展了冷温挤压技术的科研工作。1979 年曾编著过《温挤技术》一书(国防工业出版社出版)。在最近 20 年间,本人发表过一些关于冷温挤压技术的科技论文。同时,国内外冷温挤压的生产和科研都有很多进展,因此想写一本反映国内外冷温挤压技术最新成果和现状的、特别是反映本书作者一系列冷温挤压研究成果的科技著作。由于国防工业出版社,特别是本书责任编辑蒋怡同志的协助,使我的愿望成为现实。在此,我要向他(她)们表示深深的谢意。

由于我在 1994 年已经出版了一本《挤压理论》(国防工业出版社出版),所以本书的内容着重介绍的是冷、温挤压的工艺与模具技术,更多的有关原理与理论方面的内容,读者可以参考那本书,在本书中就不再重述。

由于受到篇幅的限制,更主要的是便于一般读者阅读与参考,本书的介绍力求简洁与实用。

本书可供有关专业的高等学校师生、工厂技术人员以及科研人员阅读和参考,也可供高等院校和有关的各种培训班作为教材使用。

吴诗悫
于西北工业大学
1994 年 2 月

385820



内 容 简 介

本书是作者在多年来从事冷、温挤压技术的教学、科研和生产的实践经验基础上,结合国内外发表的、特别是包括作者本人论著在内的许多文献编写而成。全书共分十二章。它们分别介绍了冷温挤压的基本概念、冷温挤压的基本理论、冷挤压的变形力、冷挤压零件的材料、冷挤压毛坯的制备、冷挤压毛坯的准备工序、冷挤压的变形工序、冷挤压模具、组合凹模的设计、温挤压、挤压工艺及模具的计算机辅助设计以及静液挤压等内容。全书内容丰富、新颖而又简明,既注意实用而又进行必要的理论分析。在叙述上具有层次分明、循序渐进、系统性强等特点。本书可供有关专业的高等学校师生、工厂技术人员以及科研人员阅读和参考,也可供高等学校和有关的各种培训班作为教材使用。

目 录

绪论.....	1
第一章 冷温挤压的基本概念	2
一、冷温挤压的定义和分类	2
二、冷挤压的优越性	3
三、冷挤压的主要矛盾	4
四、温挤压的优点与存在的问题	4
第二章 冷温挤压的基本理论	6
一、各种挤压方式的金属流动规律	6
二、应力状态对挤压工艺的影响	8
三、附加应力与残余应力	9
四、挤压时的外摩擦.....	11
五、挤压对金属组织和机械性能的影响.....	12
第三章 冷挤压的变形力	17
一、冷挤压变形的几个阶段.....	17
二、计算冷挤压变形力的重要性.....	17
三、影响冷挤压力的主要因素.....	18
四、挤压变形程度的表示方法.....	21
五、冷挤压变形力的确定.....	22
第四章 冷挤压零件的材料	34
一、对冷挤压材料的要求.....	34
二、可成形性.....	36
三、变形抗力.....	37
四、材料化学成分对钢的冷挤压性能的影响.....	37
五、钢材组织对冷挤压性能的影响.....	39
六、硬铝棒料粗晶环对冷挤压的影响.....	39
七、一种适宜冷挤压的新型材料 ——变质铝合金 160	40
第五章 冷挤压毛坯的制备	41
一、冷挤压毛坯的形状与尺寸.....	41
二、板料下料法.....	42
三、棒料下料法.....	43
第六章 冷挤压毛坯的准备工作	50
一、一般钢冷挤压毛坯的软化热处理.....	50

二、不锈钢冷挤压毛坯的软化热处理	52
三、有色金属冷挤压毛坯的软化热处理	52
四、一般钢冷挤压毛坯的表面处理与润滑	53
五、不锈钢冷挤压毛坯的表面处理与润滑	61
六、有色金属冷挤压毛坯的表面处理与润滑	62
第七章 冷挤压的变形工序	65
一、冷挤压时的许用变形程度	65
二、适合冷挤压的零件的形状和尺寸	67
三、冷挤压件的公差等级和表面粗糙度	70
四、变形工序的制订原则	72
五、锥形件的冷挤压	74
六、非对称形零件的挤压成形	76
七、冷挤压实例	77
八、冷挤压件的常见缺陷	85
九、挤压变形工序的设备选择	89
第八章 冷挤压模具	93
一、概述	93
二、典型模具结构	94
三、凸模和凹模的设计	98
四、反挤压凹模的尺寸与公差	107
五、垫板的设计	108
六、冷挤压模具工作部分的材料	109
七、冷挤压凸模和凹模的失效形式及解决办法	114
第九章 组合凹模的设计	120
一、预应力组合凹模的理论计算	120
二、组合凹模的简捷设计计算法	134
三、组合凹模的压合工艺	136
第十章 温挤压	138
一、温挤温度的选择	138
二、温挤材料及其准备	144
三、温挤压力	147
四、温挤润滑剂	152
五、温挤模具	155
六、温挤产品的尺寸精度、组织和性能	159
七、温挤压的应用	166
第十一章 挤压工艺与模具的计算机辅助设计	178
一、挤压工艺与模具计算机辅助设计的基本概念	178
二、挤压工艺与模具的计算机辅助设计系统示例	179

第十二章 静液挤压	183
一、静液挤压的原理与特点	183
二、主要装置及其设计	184
三、压力介质和润滑剂	186
四、挤压压力	186
五、工艺参数的确定	189
六、挤压产品的弹射	191
主要参考文献	193

绪 论

冷挤压和温挤压属于少无切屑的金属塑性加工先进工艺。它们具有生产率高、节约原材料、提高产品质量和降低生产成本等优点。

国外冷挤压工艺的发展是在1886年法国用冲挤法制造牙膏管开始的。但其后发展极其缓慢,在一个相当长的历史时期一直局限于铅、锡等几种较软金属的挤压。至于钢的冷挤压,很久以来一直被认为是十分困难甚至是不可能的。这是因为钢在冷挤压时需要很大的挤压力,而在当时的条件下还不能解决大压力下的许多具体问题,例如能承受大压力的模具材料问题、润滑问题以及大吨位的压力机问题等。

对钢零件的冷挤压尝试,最早是在德国的纽伦堡进行的,但效果不好。一直到1930年德国人发现可以采用磷酸盐对钢进行表面处理后作为钢冷挤压的润滑剂,钢的冷挤压才变为现实。1938年(即第二次世界大战中)德国在弹药制造业中,最先采用了钢的冷挤压方法,秘密地用于引信与弹壳的制造。第二次世界大战后,此项秘密被揭露,钢的冷挤压技术传到美国后才得到较快的发展。但是直到50年代初期还只限于简单零件的冷挤压,而到了60年代则形状比较复杂的汽车零件等已经可以进入工业生产规模,并逐渐扩大了其使用范围。同时,温挤压在70年代也开始在生产中应用。

在我国古代殷墟中曾出土过金箔,厚度仅0.01mm,它可能是人类历史上最早的冷锻件,至今已有3300多年之久。河北省怀来县出土的战国时期的“红铜锤胎薄细缶”,器壁薄到1~2mm,也是典型的冷锻件。北宋时的沈括(公元1031年~1095年),在他著名的科学著作《梦溪笔谈》中提出了世界上第一个冷锻变形量控制律“比原厚三分减二分乃成”。但由于长期的封建统治,使这种工艺没有得到发展。直到解放前夕我国的冷挤压技术还是极端落后,只有极少数工厂用铅、锡等金属来挤压牙膏管或线材、管材一类产品。新中国成立后,冷挤压技术得到了发展。50年代开始了铝、铜及其合金的冷挤压发展;60年代初期发展了黑色金属冷挤压。到70年代,在温挤压方面也开始作出可喜的成绩。目前不少工厂已组织了冷温挤压的专门化生产,零件种类已发展到千种以上。研究工作也十分广泛地开展起来。随着冷、温挤压技术的进一步推广与应用,它在我国的国民经济建设中必将发挥更大的作用和产生更大的经济效益与社会效益。

第一章 冷温挤压的基本概念

一、冷温挤压的定义和分类

挤压是迫使金属块料产生塑性流动,通过凸模与凹模间的间隙或凹模出口,制造空心或断面比毛坯断面要小的零件的一种工艺方法。如果毛坯不经加热就进行挤压,便称为冷挤压。冷挤压是无切屑、少切屑零件加工工艺之一,所以是金属塑性加工中一种先进的工艺方法。如果将毛坯加热到再结晶温度以下的某一温度进行挤压,便称为温挤压。温挤压仍具有少无切屑的优点。

根据挤压时金属流动方向与凸模运动方向之间的关系,常用的挤压方法可以分为以下几类。

(一)正挤压 挤压时,金属的流动方向与凸模的运动方向相一致。正挤压又分为实心件正挤压[图 1-1(a)]和空心件正挤压[图 1-1(b)]两种。正挤压法可以制造各种形状的实心件和空心件,如螺钉、心轴、管子和弹壳等。

(二)反挤压 挤压时,金属的流动方向与凸模的运动方向相反,如图 1-2 所示。反挤压法可以制造各种断面形状的杯形件,如仪表罩壳、万向节轴承套等。

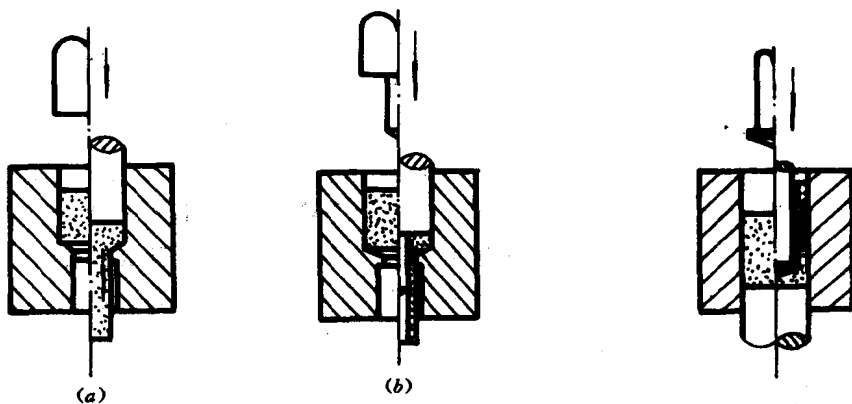


图 1-1 正挤压

(a)实心件正挤;(b)空心件正挤。

图 1-2 反挤压

(三)复合挤压 挤压时,毛坯一部分金属流动方向与凸模的运动方向相同,而另一部分金属流动方向则与凸模的运动方向相反,如图 1-3 所示。复合挤压法可以制造双杯类零件,也可以制造杯杆类零件和杆杆类零件。

(四)减径挤压 变形程度较小的一种变态正挤压法,毛坯断面仅作轻度缩减,如图 1-4 所示。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。

以上几种挤压的共同特点是:金属流动方向都与凸模轴线平行,因此可统称为轴向挤

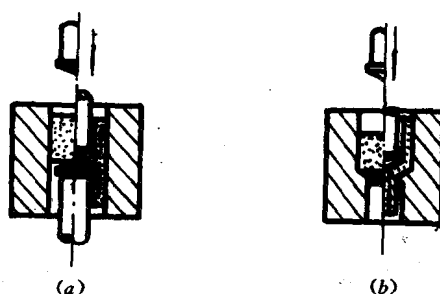


图 1-3 复合挤压

压法。

(五)径向挤压 挤压时,金属流动方向与凸模的运动方向相垂直,如图 1-5 所示。径向挤压又分为离心和向心径向挤压两种。主要用于制造带凸肩的齿轮坯以及十字轴类零件。

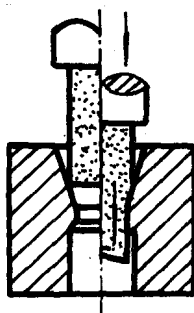


图 1-4 减径挤压

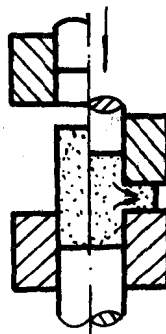


图 1-5 径向挤压

(六)镦挤法 冷镦与冷挤压相结合的一种加工方法,称为镦挤法。主要用于制造带凸缘或局部加粗的零件。如图 1-6 所示的支承杆就是采用这种方法加工的,先正挤再镦头,把冷挤与冷镦合并同一工序中。

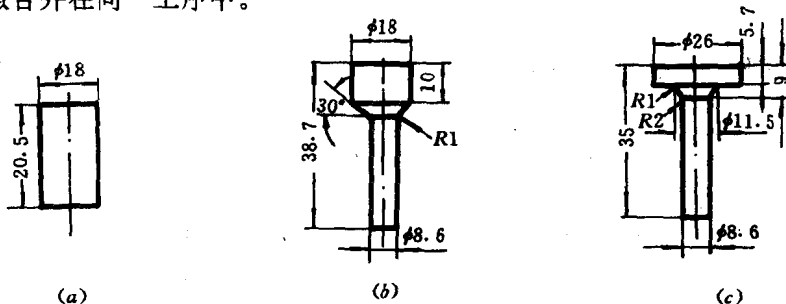


图 1-6 支承杆镦挤
(a)毛坯; (b)正挤; (c)镦头。

二、冷挤压的优越性

(一)节约原材料 冷挤压是一种利用金属塑性在压力机的作用下,使金属按照我们

的需要，在模具中成形成一定的形状，这就避免了在切削加工时形成的大量金属废屑，从而大大节约了原材料。

(二)冷挤压能够得到强度大、刚性好而重量轻的零件 在冷挤压过程金属的变形剧烈，故产生冷作硬化，且金属纤维完整，这就大大提高了金属的强度指标。这给用低强度材料代替高强度材料找到了路子，或者用同种材料由于强度提高，零件的尺寸可以缩小。

(三)提高劳动生产率 冷挤压是在压力机上进行的，其操作简便，容易掌握，生产效率高，对工人技术等级要求较低。

(四)零件的公差等级高、表面粗糙度低 冷挤压零件表面光洁，表面粗糙度一般在 $R_a=0.4\sim 1.6\mu\text{m}$ 以下。公差等级可达 IT7~IT8 级。

(五)可以制造形状较为复杂的零件

三、冷挤压的主要矛盾

冷挤压是在金属冷态下，而且是在强烈的三向压应力状态下变形的，因此变形抗力较大。如以制造一个直径 38mm、厚 5.6mm、高 100mm 的杯形低碳钢零件为例，采用深拉伸方法加工，最后一道拉伸工序仅需变形力 170kN；而采用冷挤压加工则需变形力 1320kN。这时作用在凸模上的单位压力达到 2300MPa 以上，相当于大气压力的 23000 倍。

由于变形抗力高，所以就导致以下的缺点：

(1)模具易磨损，易破坏，因此要求模具材料好。目前一般模具钢，其许用应力最大只能达 2500MPa，最好的模具钢也不超过 3000MPa。为了解决冷挤压的主要矛盾，就得采取各种技术措施，在尽力降低冷挤压材料变形抗力的同时，设法提高模具的承受能力，以利于冷挤压生产的顺利进行。

(2)对挤压设备要求较高，吨位要大。除了要求挤压设备应有较大的强度以外，还要求有较好的刚度。此外，还要求设备具有良好的精度并具有可靠的保险装置。

四、温挤压的优点与存在的问题

冷挤压虽有很多优点，但变形抗力大，就限制了零件的尺寸，同时也限制了变形抗力大的材料采用冷挤压工艺。

热挤压成形法，虽然可以使材料变形抗力变小，但由于加热，产生氧化、脱碳及热膨胀等问题，降低了产品的尺寸精度和表面质量，因而一般都需要经过大量的切削加工，才能作为最后产品。

温挤压是将毛坯加热到金属再结晶温度以下某个适当的温度进行挤压。由于金属加热，毛坯的变形抗力减小，成形容易，压力机的吨位也可以减小，而且模具的寿命延长。但与热挤压不同，因为在低温范围内加热，氧化、脱碳的可能性小，产品的机械性能与冷挤压的产品也差别不大。特别是在室温下难加工的材料，例如析出硬化相的不锈钢和中、高碳钢、含铬量高的一些钢、高温合金以及钛合金等，在温挤压时可能变成可以加工或容易加工。

温挤压不仅适用于变形抗力高的难加工材料,就是对于冷挤压适宜的低碳钢,也适合作为温挤压的对象,因为温挤压有便于组织连续生产的优点。在冷挤压时,包括冷挤压低碳钢在内,一般在加工前要进行预先软化退火,在各道冷挤压工序之间也要进行退火处理。在冷挤压以前要进行磷化处理。这就使得组织连续生产产生困难。温挤压时可以不进行预先软化退火和各工序之间的退火,也可以不进行表面处理,这就使得组织连续生产成为可能,至少可以减少许多辅助工序。

温挤压可以采用大的变形量,这样就可以减少工序数目。模具费用也可以大为减少,而且不需要刚性极高的高价锻压设备,可以采用通用锻压设备,所以虽然温挤压需要加热金属,但是总的加工费用还是比较便宜,特别是在制造工序复杂的非轴对称的异形部件时,温挤压尤可发挥它的作用。

目前,温挤压采用的润滑剂还不能完全令人满意。同时,也还缺乏加工方面的一些实际数据,还有许多技术问题有待解决。

第二章 冷温挤压的基本理论

一、各种挤压方式的金属流动规律

为了了解挤压的金属流动情况,现将圆柱体毛坯切成两块,如图 2-1 所示。在其中的 一块剖面上刻上 $5 \times 5 \sim 20 \times 20 \text{mm}^2$ 的正方网格,将拼合面上涂上润滑油,再与另一块拼 合在一起,进行各种方式的挤压,就可以看到被挤压毛坯内部的金属流动情况。

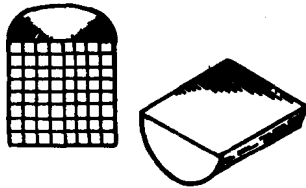


图 2-1 毛坯上的坐标网

(一)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 2-2 所示,其特征为:

(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着摩擦力和凹模形状 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于凹模出口附 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_5 时,间距基本上不再变化,说明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。如把开始向内倾斜 的点连成 I-I 线,把开始向外倾斜的点连成 II-II 线。I-I 线与 II-II 线之间所构成的区域为剧烈变形区。I-I 线以上或 II-II 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形状的影响,使得内外层金属流动存在较大的差异。 开始挤出的端部剪切角较小,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

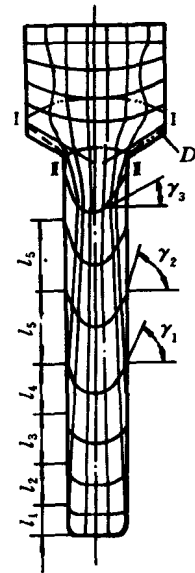


图 2-2 正挤压 实心件

较小的缘故。当进入稳定变形以后,相应处的剪切角也基本保持不变。

从以上分析可见:正挤压实心件的变形特点是:金属进入 I-I 至 II-II 线之间的区域时才发生剧烈变形,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。

(二)正挤压空心件的金属流动情况 空心件正挤压过程如图 2-3 所示。这时除受凹模工作表面的摩擦影响以外,还受心杆表面摩擦的影响,因而毛坯上的坐标横线变为向后弯的曲线,不再产生剧烈流动的中心区域,这说明正挤空心件的金属流动比正挤实心件均匀。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,不发生塑性变形,只作刚性平移。

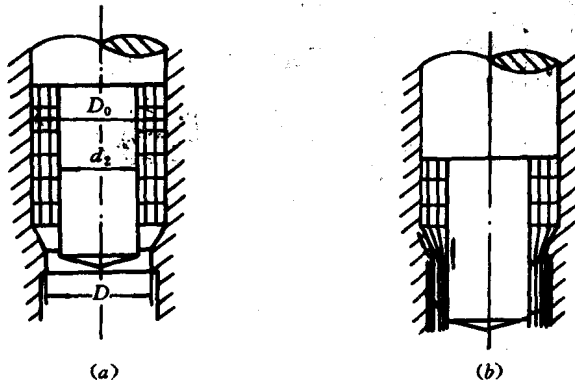


图 2-3 正挤压空心件的流动情况

(a)挤压前;(b)挤压中。

(三)反挤压杯形件的金属流动 图 2-4 为杯形件反挤压不同阶段时坐标网格的变化情况。图 2-4(b)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: I 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。 II 区为剧烈变形区,毛坯金属在这个区内产生剧烈的流动,该区的轴向界限大约为 $0.7\sqrt{R-1}d_1$ ($R=D_0/d_1$, D_0 、 d_1 分别为杯形件的外、内径)。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然保持原

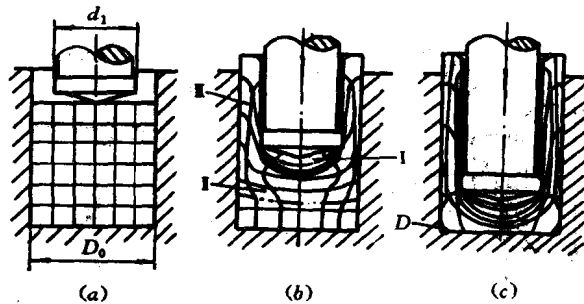


图 2-4 杯形件反挤压的流动情况

状,此时为稳定变形阶段。但当凸模再继续下行运动,毛坯剩余厚度小于上述界限尺寸时,在剩余厚度内的全部或几乎全部金属均参与塑性变形,这时如图 2-4(c)所示,为非稳定变形阶段。Ⅲ区为刚性平移区。

(四)复合挤压时的金属流动情况 复合挤压时,坐标网的变化情况如图 2-5 所示。在变形区内,有向不同出口流动的区域边界,即分流面。由于受模具结构、零件形状及外摩擦等因素的影响,分流面常常不能用简单的方法来决定。图 2-5(a)为上下对称形状的实心件的复合挤压(杆杆型复合挤压);图 2-5(b)为杯杯型复合挤压;图 2-5(c)为杯杆型复合挤压。

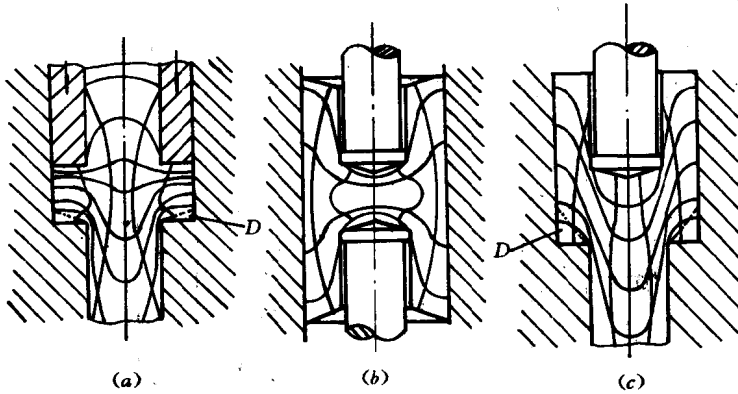


图 2-5 复合挤压时的流动情况

二、应力状态对挤压工艺的影响

冷挤压和其他塑性加工方法一样,都是以金属塑性变形为基础的加工工艺。金属的塑性主要取决于金属本身的化学成分和组织状态。但是外界条件也是不可忽视的重要因素。大家知道,拉应力是降低塑性的,而压应力是提高塑性的。拉应力能促使材料在应力集中处(夹杂物、缺陷等处)产生裂纹以致破坏,同时拉应力又易使晶粒之间发生晶间变形,而晶粒之间常会因发生较小的晶间变形而使材料破坏。压应力能压合材料内部的缺陷,同时抑制晶间变形。在主应力图中拉应力作用越大(数目多、数值大),塑性就越低;压应力作用越大(数目多、数值大),塑性就越高。

例如,在拉伸中(图 2-6),在凸缘处的应力状态是两向压缩一向拉伸,在拉伸件的侧壁部分是双向拉伸,而冷挤压时的基本应力状态是三向压应力(图 2-7),所以冷挤压可

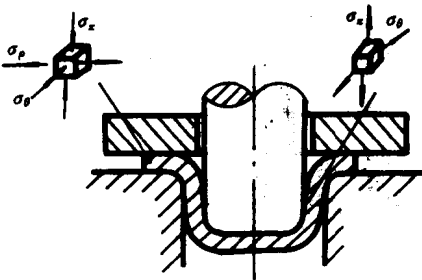


图 2-6 拉伸件的应力状态

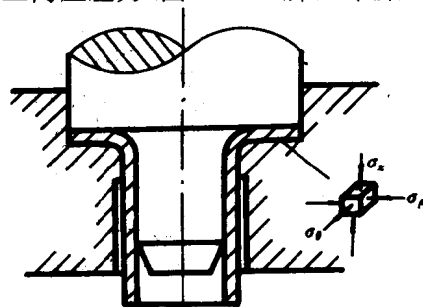


图 2-7 挤压时的应力状态

以大大提高金属的塑性。

我们还可以利用主应力状态对塑性的影响来解决冷挤压的实际生产问题。图 2-8 为一个锡磷青铜 QSn6.5-0.15 的空心套管零件的冷挤压示例。图 2-8(a) 为其使用的空心毛坯。在正挤压中产生了环状内孔裂纹[图 2-8(c)]。后用减小毛坯内孔尺寸的方法来获得强烈的径向压应力,非但内孔开裂问题解决,而且使内孔表面粗糙度达 $R_a=0.8\mu\text{m}$ 。

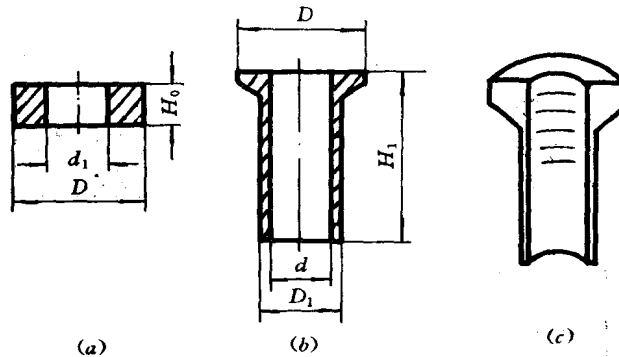


图 2-8 锡磷青铜冷挤压示例
(a)毛坯; (b)挤压件; (c)内孔环状裂纹。

三、附加应力与残余应力

(一)附加应力 在塑性变形过程中,变形金属内部除了存在着与锻压机器所作用的外力相应的基本应力以外,还由于物体各层的不均匀变形受到变形体整体性的限制,而引起变形金属内部各部分自相平衡的应力,称为附加应力。挤压时,同样也会产生附加应力,图 2-9 为正挤压时产生的附加应力示意图。此时产生附加应力的原因是:由于凹模内壁与变形金属之间存在着摩擦阻力,使得中心部分金属材料的流速大于外层金属材料的流速。但由于内外层金属是一个整体,流动快的金属力图使流动慢的金属快些流动,流动慢的金属又力图使流动快的金属慢些流动。这样,便产生了自相平衡、相互牵制的应力,这就是附加应力。外层金属的附加应力是拉应力,中层金属的附加应力是压应力。

就正挤压的基本应力来说,都是压应力。但由于金属流动不均匀,从而在外层产生了不利于塑性变形的附加拉应力。基本应力与附加应力的代数和,就是工作应力。当润滑恶劣时,这个附加拉应力可能达到很大的值。如被挤材料塑性较差时,该附加拉应力可能使工件产生严重开裂。

由此可见,附加应力是由于材料各部分变形不均匀而产生的,而挤压时的变形又往往是不均匀的,因此产生附加应力是难免的。

挤压时产生不均匀变形的主要原因如下:

(1)变形金属与模具之间存在着摩擦力,引起内外层金属流动不均匀,从而产生附加应力。

(2)各部分金属流动阻力不一致。例如反挤杯形件时,由于模具对中不好,会造成凸凹模之间间隙不均匀。由最小阻力定律可知,间隙大的阻力较小,间隙小的阻力较大。这就