

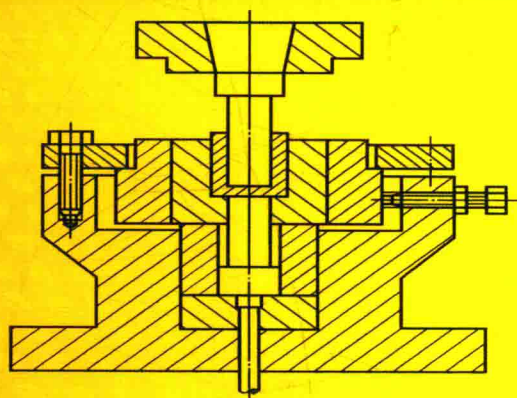
实用模具设计与制造丛书

实用冷挤压模 设计与制造

第2版

- ★ 以冷挤压工艺分析、模具结构与制造技术为重点
- ★ 配有丰富的图表和应用实例
- ★ 结构体系合理，技术内容全面，易懂易学

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

第 2 版

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、冷挤压件质量分析、冷挤压新技术。本书以冷挤压工艺分析、模具结构设计与制造技术为重点，结构体系合理，技术内容全面；书中配有丰富的图表和应用实例，实用性强，能开拓思路，便于自学。

本书主要供从事冷挤压模具设计与制造的工程技术人员、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. —2 版.
—北京：机械工业出版社，2016.2
(实用模具设计与制造丛书)
ISBN 978 -7 -111 -52765 -7

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 (2016) 第 017900 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
责任校对：刘秀丽 责任印制：乔宇
北京京丰印刷厂印刷
2016 年 2 月第 2 版·第 1 次印刷
184mm×260mm·19 印张·468 千字
0 001—3 000 册
标准书号：ISBN 978 -7 -111 -52765 -7
定价：59.00 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

服务咨询热线：010-88361066

机工官网：www.cmpbook.com

读者购书热线：010-68326294

机工官博：weibo.com/cmp1952

010-88379203

策划编辑：010-88379734

教育服务网：www.cmpedu.com

封面无防伪标均为盗版

金书网：www.golden-book.com

前 言

随着科学技术的进一步发展,冷挤压技术在机械、航空、仪表、军工、汽车、电子通信和轻工等领域得到了广泛的应用。由于冷挤压技术具有节约材料、提高生产率、提高产品的力学性能、降低制造成本、适合大批量生产的特点,所以进一步推广应用冷挤压技术,在我国现代化建设中有着十分广阔的前景。

根据中国锻压协会资料统计,我国2014年汽车产量已达2400万辆,其中冷挤压件产量已超过20万t,占模锻件的6%。而美国每年生产冷挤压件100万件以上,80%为汽车零件。日本丰田1.8L排气量轿车中有43kg冷挤压件,还有35kg冷挤压标准件。因此,在我国,冷挤压技术的应用还需进一步发展扩大。

为了与时俱进,适应冷挤压技术发展和读者需求,决定对《实用冷挤压模设计与制造》进行修订,出版第2版。第2版仍继续坚持第1版的特点:在选材上,力求既延续传统的冷挤压工艺内容体系,又反映当今冷挤压与模具技术的最新成果和先进经验。在编写上,注重理论与实践相结合,采用文字阐述与图形相结合,突出模具设计与制造重点和典型模具结构实例,以方便读者使用。本书从冷挤压生产全局考虑,在系统全面的前提下,突出重点而实用的技术;同时,尽量多地编入常用的技术数据和图表,以满足不同读者的需要。

修订时,全面贯彻了冷挤压技术的相关最新标准,更新了相关内容;修正了第1版中的错误;从冷挤压工艺、模具设计与制造步骤考虑,调整了章节结构,以方便读者阅读使用;增加了第9章冷挤压件质量分析和第10章冷挤压新技术两章内容。

本书共10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、冷挤压件质量分析、冷挤压新技术。本书以冷挤压工艺分析、模具结构与制造技术为重点,结构体系合理,技术内容全面;书中配有丰富的图表和应用实例,实用性强,能开拓思路,便于自学。

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

由于作者水平有限,书中错误和不妥之处在所难免,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 | 9 |
| 1.4 冷挤压技术现状及发展方向 | 14 |
| 第2章 冷挤压件的原材料及毛坯准备 | 15 |
| 2.1 冷挤压用材料 | 15 |
| 2.2 常用的下料方法 | 16 |
| 2.3 毛坯软化处理 | 16 |
| 2.4 毛坯表面处理与润滑 | 21 |
| 2.4.1 冷挤压坯料表面预处理 | 21 |
| 2.4.2 磷酸盐处理 | 23 |
| 2.4.3 草酸盐覆层 | 25 |
| 2.4.4 冷挤压润滑剂 | 25 |
| 第3章 冷挤压零件设计 | 28 |
| 3.1 冷挤压零件的分类 | 28 |
| 3.2 毛坯尺寸计算 | 30 |
| 3.3 冷挤压的变形程度 | 35 |
| 3.4 挤压件的尺寸精度 | 38 |
| 3.5 冷挤压力的计算 | 41 |
| 3.5.1 冷挤压力的计算分析 | 41 |
| 3.5.2 冷挤压力的计算方法 | 41 |
| 第4章 冷挤压工艺制订 | 48 |
| 4.1 冷挤压工艺的设计内容及方法 | 48 |
| 4.1.1 工艺设计前的准备工作 | 48 |
| 4.1.2 工艺设计的主要内容和方法 | 49 |
| 4.1.3 成形方法的评价和估算 | 50 |
| 4.2 冷挤压工序的设计原则 | 51 |
| 4.3 冷挤压工艺方案 | 53 |
| 4.4 冷挤压工艺计算实例 | 58 |
| 第5章 冷挤压模具设计 | 65 |
| 5.1 冷挤压模具的分类、构造及设计方法 | 65 |
| 5.2 冷挤压模具结构设计 | 68 |
| 5.2.1 模具结构设计要求及内容 | 68 |
| 5.2.2 模具结构形式的种类 | 70 |
| 5.2.3 模具结构形式的确定 | 72 |
| 5.3 典型模架结构 | 73 |
| 5.3.1 反挤压模架 | 73 |
| 5.3.2 正挤压模架 | 75 |
| 5.3.3 复合挤压模架 | 76 |
| 5.3.4 简易敞开式通用模架 | 76 |
| 5.3.5 小型冷挤压通用模架 | 76 |
| 5.3.6 中型冷挤压万能式通用模架 | 77 |
| 5.4 模具工作部分的设计 | 78 |
| 5.4.1 反挤压凸模设计 | 78 |
| 5.4.2 反挤压凹模设计 | 80 |
| 5.4.3 顶出杆设计 | 82 |
| 5.4.4 底面向上空心件的正挤压模具设计 | 82 |
| 5.4.5 实心件或口部向上空心件的正挤压模具设计 | 84 |
| 5.4.6 制造尺寸及公差计算 | 86 |
| 5.5 组合凹模的计算及应用 | 87 |
| 5.5.1 组合凹模的计算 | 87 |
| 5.5.2 组合凹模压合工艺的应用 | 89 |
| 5.6 模具的固定 | 93 |
| 5.6.1 零件固定方法 | 93 |
| 5.6.2 紧固零件设计 | 97 |
| 5.7 模具的配合要求 | 99 |
| 5.7.1 部件配合要求 | 99 |
| 5.7.2 凸模与凹模配合要求 | 101 |
| 5.7.3 零件加工要求 | 102 |
| 第6章 冷挤压模具结构实例 | 105 |

| | | | |
|----------------------------------|-----|---------------------------------|-----|
| 实例 1 薄壁管冷挤压模具 | 105 | 实例 42 导电杆终成形件冷挤压模具 | 140 |
| 实例 2 管罩冷挤压模具 | 106 | 实例 43 高压开关插座冷挤压模具 | 141 |
| 实例 3 铆管冷挤压模具 | 106 | 实例 44 栅极引出线冷挤压模具 | 141 |
| 实例 4 抽动式衬套正挤压、切边模 | 107 | 实例 45 旋钮帽冷挤压模具 | 142 |
| 实例 5 夹头冷挤压模具 | 108 | 实例 46 轴套冷挤压模具 | 143 |
| 实例 6 多层电容器冷挤压模具 | 109 | 实例 47 纯铁底座冷挤压模具 | 144 |
| 实例 7 发电机水冷接头冷挤压模具 | 109 | 实例 48 钢前筒冷挤压模具 | 145 |
| 实例 8 管罩冷挤压模具 | 111 | 实例 49 刷杆冷挤压模具 | 146 |
| 实例 9 外罩冷挤压模具 | 111 | 实例 50 推杆上接头冷挤压模具 | 147 |
| 实例 10 电容器外壳冷挤压模具 | 112 | 实例 51 自行车前钢碗冷挤压模具 | 148 |
| 实例 11 薄壁件反挤压通用模具 | 112 | 实例 52 螺母冷挤压模具 | 149 |
| 实例 12 微型电路铝壳冷挤压模具 | 114 | 实例 53 锥套冷挤压模具 | 150 |
| 实例 13 管壳冷挤压模具 | 115 | 实例 54 不锈钢外壳冷挤压模具 | 150 |
| 实例 14 薄膜电路壳体冷挤压模具 | 115 | 实例 55 夹线螺钉座冷挤压模具 | 152 |
| 实例 15 大壳体冷挤压模具 | 116 | 实例 56 液压件管帽冷挤压模具 | 152 |
| 实例 16 航空接插件外壳冷挤压模具 | 117 | 实例 57 钢碗冷挤压模具 | 153 |
| 实例 17 扬声器话筒接头冷挤压模具 | 117 | 实例 58 汽车轮胎螺母冷挤压模具 | 154 |
| 实例 18 绳轮冷挤压模具 | 118 | 实例 59 汽车滚针轴承外套冷挤压 模具 | 155 |
| 实例 19 微型电动机转子杯冷挤压 模具 | 120 | 实例 60 梭芯套冷挤压模具 | 156 |
| 实例 20 轴套冷挤压模具 | 120 | 实例 61 自行车左中轴碗冷挤压模具 | 157 |
| 实例 21 转子冷挤压模具 | 122 | 实例 62 螺母复合挤压模具 | 158 |
| 实例 22 旋转座冷挤压模具 | 123 | 实例 63 极铁冷挤压模具 | 158 |
| 实例 23 凸缘壳体冷挤压模具 | 124 | 实例 64 管接头冷挤压模具 | 160 |
| 实例 24 加压器冷挤压模具 | 124 | 实例 65 圆盖冷挤压模具 | 161 |
| 实例 25 铝外罩冷挤压模具 | 125 | 实例 66 倒牙钢碗冷挤压模具 | 162 |
| 实例 26 照相机内镜筒冷挤压模具 | 125 | 实例 67 管帽冷挤压模具 | 163 |
| 实例 27 弯角件对称冷挤压模具 | 127 | 实例 68 发动机气门顶杆冷挤压模具 | 163 |
| 实例 28 仪器箱锁门冷挤压模具 | 128 | 实例 69 轴承内圈冷挤压模具 | 164 |
| 实例 29 铝罩冷挤压模具 | 129 | 实例 70 轴承套圈冷挤压模具 | 166 |
| 实例 30 闷头冷挤压模具 | 130 | 实例 71 力车轴挡冷挤压模具 | 167 |
| 实例 31 高压开关方帽冷挤压模具 | 130 | 实例 72 汽车轮胎螺母预成形件冷挤 压模具 | 167 |
| 实例 32 高压开关触头冷挤压模具 | 130 | 实例 73 汽车轮胎螺母终成形件冷挤 压模具 | 169 |
| 实例 33 阳极筒冷挤压模具 | 130 | 实例 74 火花塞壳体冷挤压模具 | 170 |
| 实例 34 外罩冷挤压模具 | 133 | 实例 75 汽车起动齿轮冷挤压模具 | 171 |
| 实例 35 管座冷挤压模具 | 134 | 实例 76 凿岩机零件冷挤压模具 | 171 |
| 实例 36 屏蔽罩冷挤压模具 | 135 | 实例 77 活塞销冷挤压模具 | 172 |
| 实例 37 双水内冷发电机水冷接头冷 挤压模具 | 135 | 实例 78 钢接头冷挤压模具 | 173 |
| 实例 38 接线柱冷挤压模具 | 136 | 实例 79 自行车花盘冷挤压模具 | 174 |
| 实例 39 晶闸管底座冷挤压模具 | 137 | 实例 80 钻夹头钥匙预成形模具 | 175 |
| 实例 40 灯管铜帽冷挤压模具 | 138 | 实例 81 钻夹头钥匙冷挤压模具 | 176 |
| 实例 41 导电杆预成形件冷挤压模具 | 138 | | |

| | | | | | |
|------------|--------------------|------------|-------------|--------------------|------------|
| 实例 82 | 汽油机弹簧座冷挤压模具 | 176 | 7.4.4 | 高速切削技术 | 232 |
| 实例 83 | 螺塞冷镦模具 | 178 | 7.5 | 快速制模技术 | 233 |
| 实例 84 | 汽车球头销冷镦模具 | 178 | 7.5.1 | 快速成形技术的基本原理与特点 | 233 |
| 实例 85 | 多层旋转体冷挤压模具 | 178 | 7.5.2 | 快速成形技术的典型方法 | 234 |
| 实例 86 | 不锈钢轴套冷挤压模具 | 180 | 7.6 | 模具表面技术 | 238 |
| 实例 87 | 法兰面自锁螺母冷挤压模具 | 181 | 7.6.1 | 表面强化技术 | 238 |
| 实例 88 | 卷筒内齿轮冷挤压模具 | 182 | 7.6.2 | 光整加工技术 | 240 |
| 实例 89 | 齿圈冷挤压模具 | 183 | 7.7 | 零件加工检测 | 241 |
| 实例 90 | 双金属凸缘冷挤压模具 | 184 | 7.8 | 模具零件加工的应用举例 | 242 |
| 实例 91 | 火花塞壳体(多工位自动机)冷挤压模具 | 185 | 7.8.1 | 成形零件的加工 | 242 |
| 第7章 | 冷挤压模具制造 | 187 | 7.8.2 | 模架零件的加工 | 246 |
| 7.1 | 概述 | 187 | 7.8.3 | 导向机构零件的加工 | 251 |
| 7.2 | 常规加工方法 | 196 | 7.8.4 | 模板类零件的加工 | 255 |
| 7.2.1 | 车削加工 | 196 | 第8章 | 冷挤压模具的装配及试模 | 260 |
| 7.2.2 | 铣削加工 | 204 | 8.1 | 冷挤压模具的装配 | 260 |
| 7.2.3 | 刨削加工 | 207 | 8.2 | 冷挤压模具的试模 | 262 |
| 7.2.4 | 钻削加工 | 209 | 第9章 | 冷挤压件质量分析 | 266 |
| 7.2.5 | 镗削加工 | 211 | 9.1 | 质量问题分析及防止措施 | 266 |
| 7.2.6 | 磨削加工 | 213 | 9.2 | 冷挤压件的力学性能 | 273 |
| 7.2.7 | 珩磨 | 223 | 第10章 | 冷挤压新技术 | 277 |
| 7.3 | 特种加工 | 224 | 10.1 | 摆辗挤压 | 277 |
| 7.3.1 | 电火花成形加工 | 224 | 10.2 | 微型零件的挤压 | 281 |
| 7.3.2 | 电火花线切割加工 | 226 | 附录 | | 289 |
| 7.3.3 | 电解成形加工 | 227 | 附录 A | 冷挤压模具零件的材料及硬度 | 289 |
| 7.3.4 | 电解抛光 | 228 | 附录 B | 常用压力机技术参数 | 289 |
| 7.3.5 | 电解修磨与电解磨削 | 229 | 附录 C | 冷挤压模具零件的加工 | 294 |
| 7.4 | 数控加工技术 | 229 | 参考文献 | | 297 |
| 7.4.1 | 数控加工技术概述 | 230 | | | |
| 7.4.2 | 常用的数控加工方式 | 231 | | | |
| 7.4.3 | 模具 CAM 技术 | 232 | | | |

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

冷挤压工艺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的挤压件的工艺技术。冷挤压是无切屑或少切屑零件加工工艺之一，是金属塑性加工中一种先进的加工方法。图 1-1 ~ 图 1-4 所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。

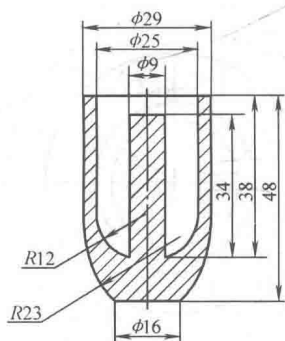


图 1-1 冷挤压普通碳素钢缝纫机梭芯套

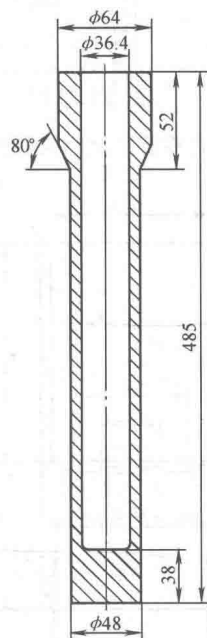


图 1-2 冷挤压低碳钢深孔气缸

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零件的。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。

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 所示为纯铝、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。

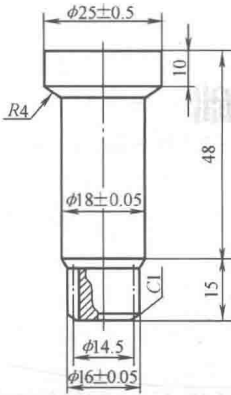


图 1-3 冷挤压中碳钢洗衣机齿轮轴

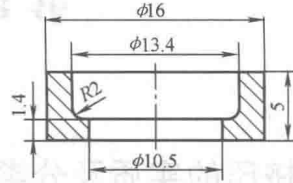


图 1-4 冷挤压碳素工具钢连接帽

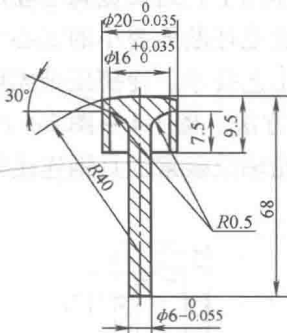


图 1-5 冷挤压纯铝仪表支架

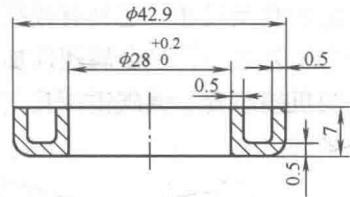


图 1-6 冷挤压防锈铝加压器

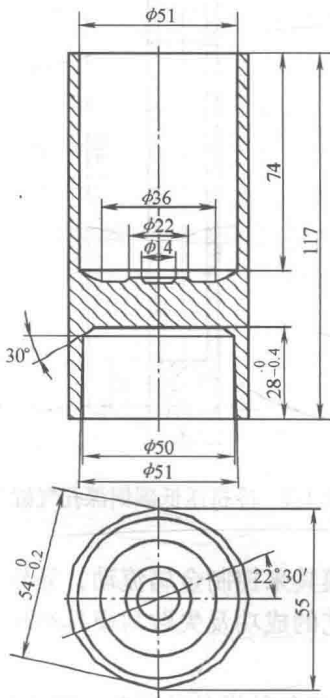


图 1-7 冷挤压硬铝十六角圆筒

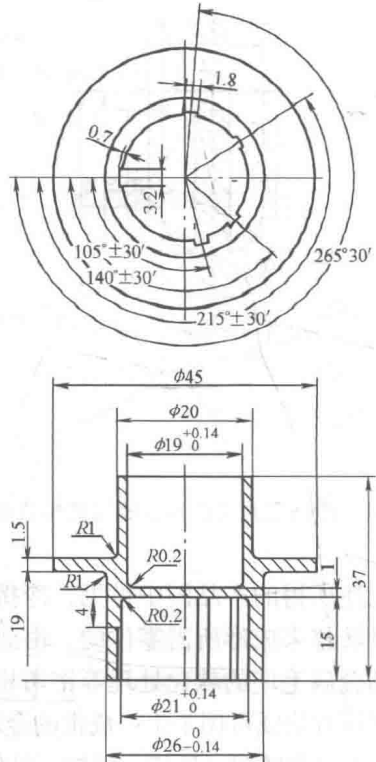


图 1-8 冷挤压锻铝凸缘壳体

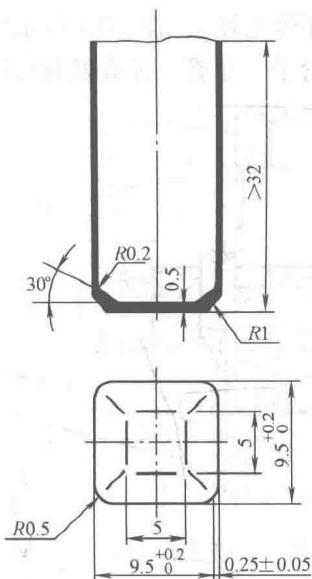


图 1-9 冷挤压纯铜正方薄壁屏蔽罩

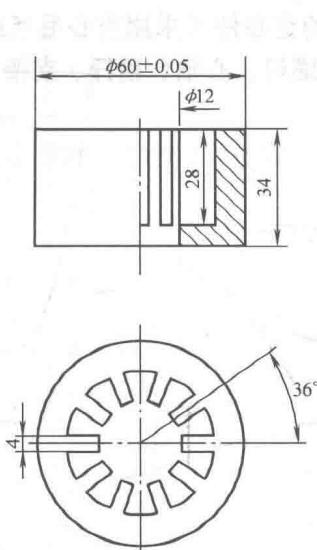


图 1-10 冷挤压无氧铜管座

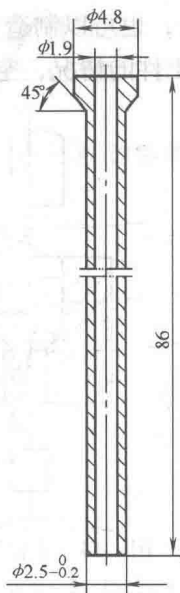


图 1-11 冷挤压黄铜仪表套管

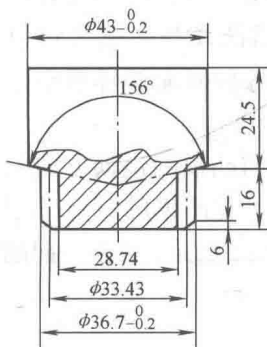


图 1-12 冷挤压铬镍钢小链轮

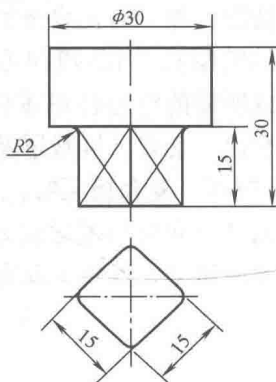


图 1-13 冷挤压轴承钢方身塞头

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或液压机、摩擦压力机及高速锤上进行。

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，冷挤压分为正挤压、反挤压、复合挤压、减径挤压、径向挤压、斜向挤压和镦挤。

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，然后用凸模加压法挤压毛坯。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。一般来说，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、心轴、顶杆、支架、管子、套管、弹壳及衬套等。

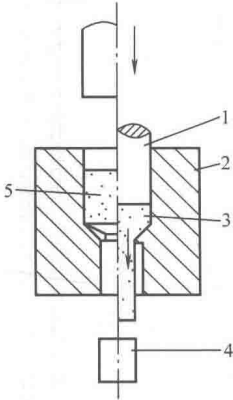


图 1-14 正挤压实心件
1—凸模 2—凹模 3—挤压件
4—顶料杆 5—毛坯

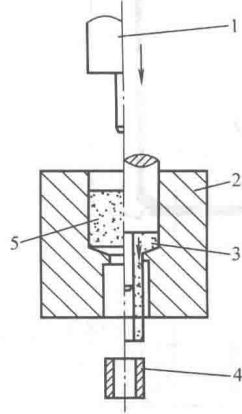


图 1-15 正挤压空心件
1—凸模 2—凹模 3—挤压件
4—顶料杆 5—毛坯

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件的情况。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，如图 1-17 所示。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。

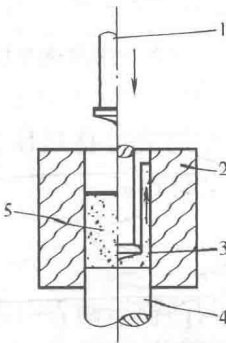


图 1-16 反挤压空心杯形件
1—凸模 2—凹模 3—挤压件
4—顶料杆 5—毛坯

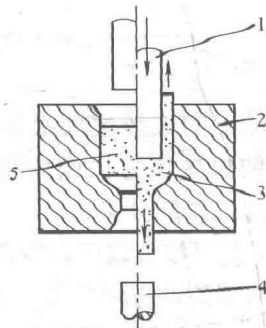


图 1-17 复合挤压
1—凸模 2—凹模 3—挤压件
4—顶料杆 5—毛坯

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）。

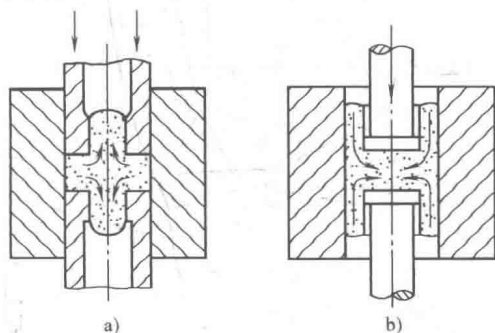


图 1-18 复合挤压的两种类型

a) 杆-杆件 b) 杯-杯件

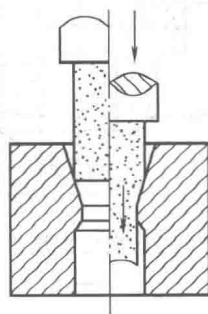


图 1-19 减径挤压

4) 减径挤压。它是变形程度较小的一种变态正挤压法，毛坯断面仅做轻度的缩减，如图 1-19 所示。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，如图 1-20 所示。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，内齿与外圆的阿拉伯字码一次挤出，内齿是用径向向心挤压法加工的。

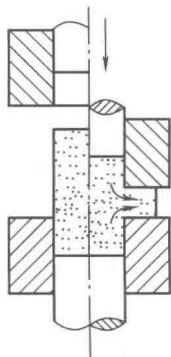


图 1-20 径向挤压

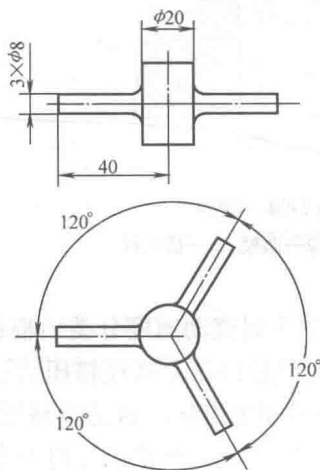


图 1-21 径向离心挤压铝合金零件

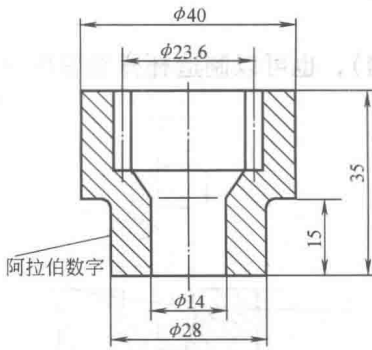


图 1-22 径向向心挤压铝合金号码盘

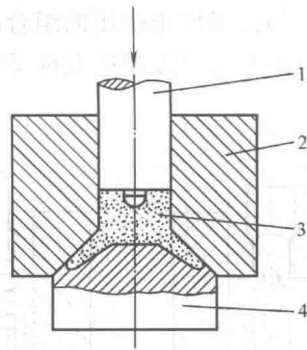


图 1-23 斜向挤压

1—凸模 2—凹模 3—挤压件 4—凹模镶块

6) 斜向挤压。斜向挤压时，金属的流动方向倾斜或弯曲于凸模的运动方向，如图 1-23 所示。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。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。图 1-24 所示为镦挤的工作情况。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。

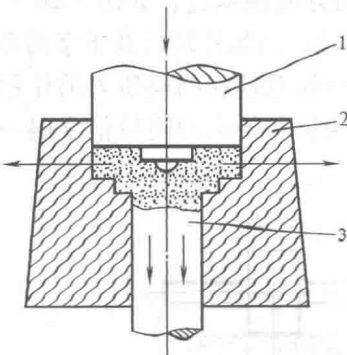


图 1-24 镦挤

1—凸模 2—凹模 3—挤压件

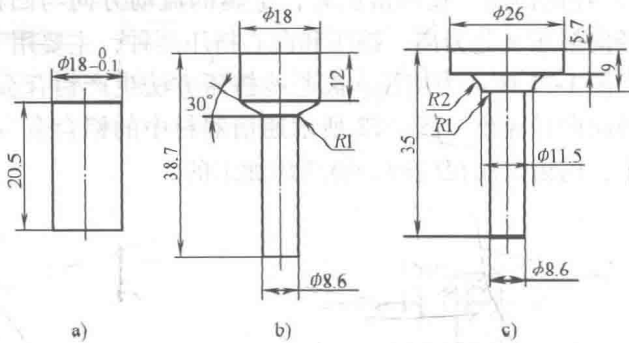


图 1-25 支承杆镦挤

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，冷挤压分为一般速度挤压、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 ~ 2m/s，其设备有肘杆压力机、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 ~ 0.10m/s。

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

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金属流动的实际情况。

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，即金属流动情况如图 1-27 所示，其特征如下：

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内层的缘故。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_5 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，只做刚性平移。

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。

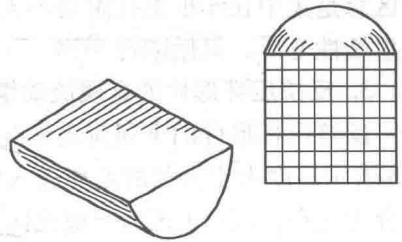


图 1-26 毛坯上的坐标网

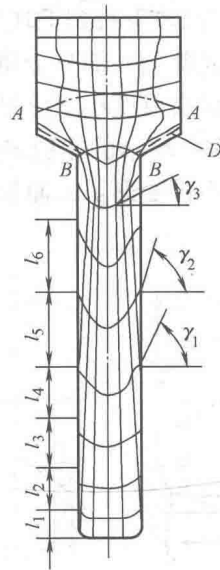


图 1-27 正挤压实心件的金属流动情况

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，不发生塑性变形，只做刚性平移。

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。

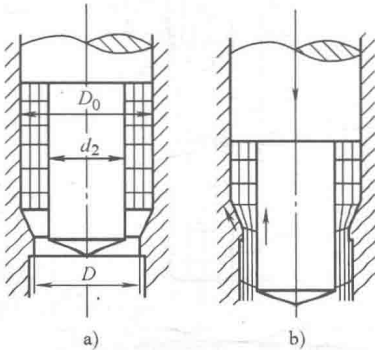


图 1-28 正挤压空心件的金属流动情况

a) 挤压前 b) 挤压中

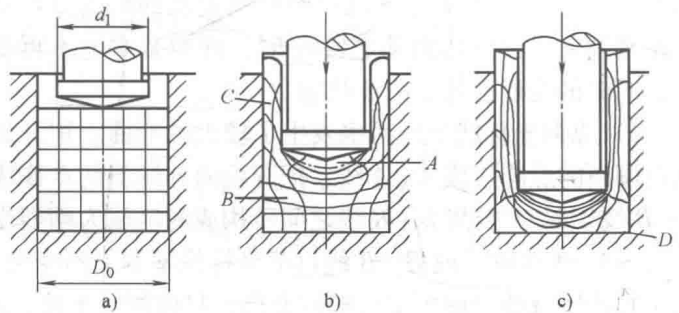


图 1-29 反挤压杯形件的金属流动情况

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域边界，即分流面。由于受模具结构、零件形状以及外摩擦等因素的影响，分流面不能用简单的方法来决定。图 1-30a 所示为上下对称形状的实心件的复合挤压（杆-杆型复合挤压），由于金属向上流动所受到的阻力比向下流动所受到的阻力大，因此向下流动的体积较多。图 1-30b 所示为上下对称形状的双杯类复合挤压（杯-杯型复合挤压），且又是在双动冷挤压压力机上进行加工的，因此金属材料均匀地向上和向下流动，分流面在中间对称面上。图 1-30c 所示为杯-杆件复合挤压，上部金属材料的流动情况与杯形件反挤压相似，下部与实心件正挤压相似。

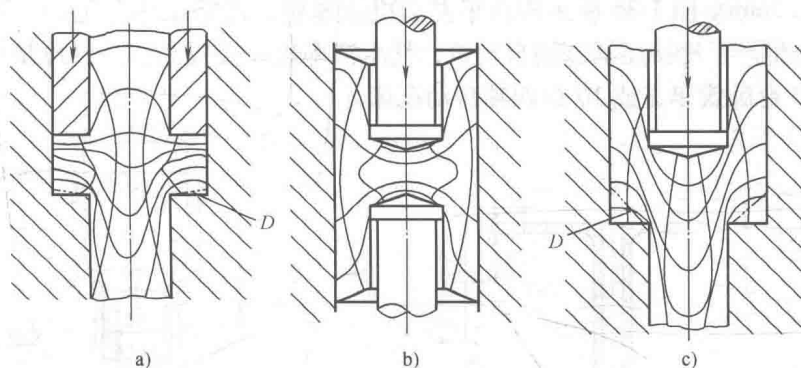


图 1-30 复合挤压时的金属流动情况

a) 杆-杆型 b) 杯-杯型 c) 杯-杆型

1.3 冷挤压工艺的优缺点及应用范围

1. 冷挤压工艺的优缺点

(1) 冷挤压工艺的优点 近年来,在机械制造工艺方面广泛采用冷挤压技术,取得了显著的成效。目前,随着计算机、快速成形及数字化等现代科学技术的迅速发展及应用,使冷挤压工艺进一步得到开拓及应用。与其他制造方法相比,冷挤压工艺已成为金属塑性变形中先进的工艺之一,在技术上和经济上它都有很多的优点。

1) 显著降低原材料的消耗。冷挤压是一种金属塑性成形加工方法。它在不破坏金属的前提下使金属体积做出塑性转移,达到少切屑或无切屑而使金属成形,制得所需的形状及尺寸零件。这样就避免了在切削加工时而形成的大量金属废屑,大大节约了各种金属材料,使1t金属材料能作为2t甚至3~5t之用。图1-31所示为通信器材中的纯铁底座,采用冷挤压材料消耗仅为原来切削加工的1/10,即原来1个零件的材料现在可以加工10个产品。图1-32所示为纯铝旋钮接头,原来采用 $\phi 22\text{mm} \times 21\text{mm}$ 的实心坯料切削加工,采用冷挤压后,只需用 $\phi 20.3\text{mm} \times 6\text{mm}$ 的毛坯材料,材料消耗约为原来的1/4。图1-33所示为无氧铜排气管,原采用 $\phi 40\text{mm} \times 180\text{mm}$ 圆筒形坯料切削加工,现采用冷挤压后只需用 $\phi 40\text{mm} \times \phi 17\text{mm} \times 20\text{mm}$ 的空心扁坯材料,显著节约了原材料,仅为原来的1/9。图1-34所示为双水内冷汽轮机发电机水冷接头,用奥氏体不锈钢制成,采用冷挤压后,材料消耗为原来切削加工的1/2。图1-35所示为汽车发动机活塞销冷挤压件,材料为低合金结构钢20Cr,原来切削加工的单件消耗定额为0.282kg,改用冷挤压后下降为0.149kg。根据工厂的统计,以一种车型为例,按计划每年需生产100万件,则可节约铬合金钢133t。全国约有十几种车型,其钢材节约吨数是可观的。

2) 提高劳动生产率。冷挤压工件是在压力机上进行的,操作方便,容易掌握,生产率很高。图1-31所示的纯铁底座,由于纯铁较软,可加工性差,机加工较为困难,经采用冷挤压后,不仅节约了原材料,而且使生产率提高了30倍。图1-36所示的纯铜高压开关零件,直接用六角空心板坯(由压力机上无废料落料)冷挤压而成,省去了原来的车削和铣削(十字槽)工时。图1-32所示的航空仪表旋钮接头,改用冷挤压后,加工工时由原来机械加工的5.84min下降到1min。图1-34所示的不锈钢水冷接头的工时也由原来切削加工的

15min 下降到 1.5min。图 1-35 所示的汽车发动机活塞销，冷挤压比车削加工可提高生产率 3.2 倍。目前又生产了冷挤压活塞销自动机，使生产率进一步提高，一台冷挤压自动机的生产率相当于 100 台卧式车床或 10 台四轴自动车床。

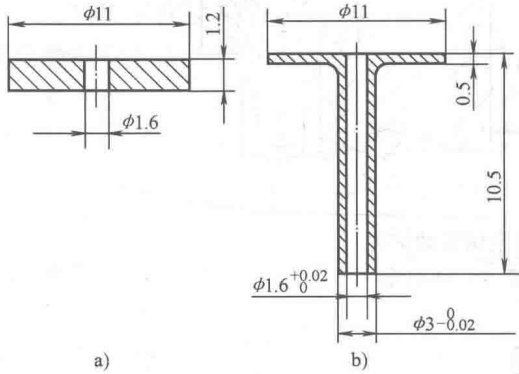


图 1-31 纯铁底座
a) 毛坯 b) 挤压件

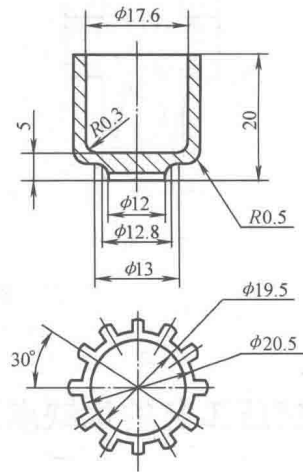


图 1-32 纯铝旋钮接头

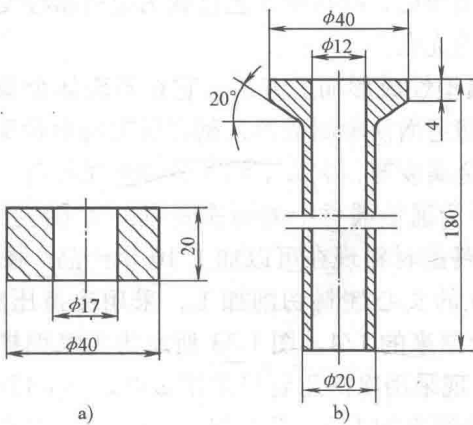


图 1-33 无氧铜排气管
a) 空心扁坯 b) 挤压件

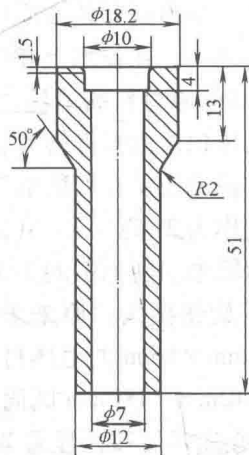


图 1-34 不锈钢水冷接头

3) 可成形复杂形状的零件。在压力机的往复直线动作下完成复杂的加工工序，并可以制成形状复杂的零件。图 1-37 所示的纯铝多层可变电容器和图 1-38 所示的纯铝双层套形状复杂，尺寸小，要求严。若采用切削加工方法制造，不仅生产率低，材料消耗大，而且在制造方面会感到十分困难；但用冷挤压加工则就显得十分方便。

4) 提高零件的力学性能。在冷挤压过程中，金属材料处于三向不等的压应力作用下。挤压变形后，金属材料的晶粒组织更加致密，金属流线不被切断，成为沿着挤压件轮廓连续分布的金属流线，如图 1-39 所示的冷挤压活塞销的金属流线。图 1-40 所示为冷挤压零件上纤维的状态，可以看到所有纤维没有任何尖锐的间断痕迹。同时，由于冷挤压利用了金属材