



普通高等教育规划教材

挤压工艺及模具

贾俐俐 主编

 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



普通高等教育规划教材

挤压工艺及模具

主 编 贾俐俐

副主编 张水忠

参 编 徐新成 潘晓涛 谢斌

主 审 洪深泽



机械工业出版社

本书系统地介绍了挤压工艺及模具设计的相关理论、工艺及模具设计知识。在内容上以介绍冷挤压工艺及模具设计为主，同时兼顾到热挤压技术和温挤压技术。考虑到工业发展状况，铝型材挤压技术在近十几年来得到迅速发展，本书加强了对铝型材挤压的内容介绍。

本书在编写时注重：内容宽与精相结合；图例新、知识新；理论与工程实践的结合。全书共分十章，分别讨论了挤压基本原理、工艺设计及模具设计等知识。通过实例分析，详细地介绍了挤压技术应用的一般步骤，并对挤压模具结构选用、模具选材及制造技术等进行了分析，对实际生产具有指导意义。

本书可作为高等学校材料成形及控制工程专业、模具设计与制造专业等机械工程类、材料工程类的本、专科教材，亦可供从事相关领域工程技术人员参考。

图书在版编目（CIP）数据

挤压工艺及模具/贾俐俐主编. —北京：机械工业出版社，2004.3
普通高等教育规划教材
ISBN 7-111-14681-6

I. 挤... II. 贾... III. ①挤压-技术-高等学校-教材②挤压-模具-设计-高等学校-教材 IV. TG37

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2004）第 056251 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：张祖凤 责任编辑：董连仁 版式设计：冉晓华
责任校对：张媛 封面设计：陈沛 责任印制：李妍
北京机工印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行
2004 年 7 月第 1 版第 1 次印刷
1000mm × 1400mm B5 · 8.625 印张 · 332 千字
定价：22.00 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换
本社购书热线电话（010）68993821、88379646
封面无防伪标均为盗版

普通高等教育应用型人才培养规划教材 编审委员会名单

主任：刘国荣 湖南工程学院
副主任：左健民 南京工程学院
陈力华 上海工程技术大学
鲍 泓 北京联合大学
王文斌 机械工业出版社

委员：(按姓氏笔画排序)

刘向东 华北航天工业学院
任淑淳 上海应用技术学院
何一鸣 常州工学院
陈文哲 福建工程学院
陈 峻 扬州大学
苏 群 黑龙江工程学院
娄炳林 湖南工程学院
梁景凯 哈尔滨工业大学(威海)
童幸生 江汉大学

材料成形及控制工程专业教材编委会

主任：计伟志 上海工程技术大学

副主任：李 尧 江汉大学

王卫卫 哈尔滨工业大学（威海）

委员：（按姓氏笔画排序）

王高潮 南昌航空学院

邓 明 重庆工学院

齐晓杰 黑龙江工程学院

肖小亭 广东工业大学

李慕勤 佳木斯大学

张 旭 湖南工程学院

周述积 湖北汽车工业学院

侯英玮 大连铁道学院

胡礼木 陕西理工学院

胡成武 株洲工学院

施于庆 浙江科技学院

贾俐俐 南京工程学院

翁其金 福建工程学院

傅建军 华北航天工业学院

序

工程科学技术在推动人类文明的进步中一直起着发动机的作用。随着知识经济时代的到来,科学技术突飞猛进,国际竞争日趋激烈。特别是随着经济全球化发展和我国加入 WTO,世界制造业将逐步向我国转移。有人认为,我国将成为世界的“制造中心”。有鉴于此,工程教育的发展也因此面临着新的机遇和挑战。

迄今为止,我国高等工程教育已为经济战线培养了数百万专门人才,为经济的发展作出了巨大的贡献。但据 IMD1998 年的调查,我国“人才市场上是否有充足的合格工程师”指标排名世界第 36 位,与我国科技人员总数排名世界第一形成很大的反差。这说明符合企业需要的工程技术人员,特别是工程应用型技术人才市场供给不足。在此形势下,国家教育部近年来批准组建了一批以培养工程应用型本科人才为主的高等院校,并于 2001 年、2002 年两次举办了“应用型本科人才培养模式研讨会”,对工程应用型本科教育的办学思想和发展定位作了初步探讨。本系列教材就是在这种形势下组织编写的,以适应经济、社会发展对工程教育的新要求,满足高素质、强能力的工程应用型本科人才培养的需要。

航天工程的前驱、美国加州理工学院的马·卡门教授有句名言:“科学家研究已有的世界,工程师创造未有的世界。”科学在于探索客观世界中存在的客观规律,所以科学强调分析,强调结论的惟一性。工程是人们综合应用科学(包括自然科学、技术科学和社会科学)理论和技术手段去改造客观世界的实践活动,所以它强调综合,强调方案优缺点的比较并做出论证和判断。这就是科学与工程的主要不同之处。这也就要求我们对工程应用型人才的培养和对研究型人才的培养应实施不同的培养方案,采用不同的培养模式,采用具有不同特点的教材。然而,我国目前的工程教育没有注意到这一点,而是:①过分侧重工程科学(分析)方面,轻视了工程实际训练方面,重理论,轻实践,没有足够的工程实践训练,工程教育的“学术化”倾向造成了“课题训练”的偏软现象,导致学生动手能力差。②人才培养模式、规格比较单一,课程结构不合理,知识面过窄,导致知识结构单一,所学知识中有一些内容已陈旧,交叉学科、信息学科的内容知之甚少,人文社会科学知识薄弱,学生创新能力不强。③教材单一,注重工程的科学分析,轻视工程实践能力的培养;注重理论知识的传授,轻视学生个性特别是创新精神的培养;注重教材的系统性和完整性,造成课程方面的相互重复、脱节等现象;缺乏工程应用背景,存在内容陈旧的现象。④老师缺乏工程实践经验,自身缺乏“工程训练”。⑤工程教育在实践中



与经济、产业的联系不密切。要使我国工程教育适应经济、社会的发展，培养更多优秀的工程技术人才，我们必须努力改革。

组织编写本套系列教材，目的在于改革传统的高等工程教育教材，建设一套富有特色、有利于应用型人才培养的本科教材，满足工程应用型人才培养的要求。

本套系列教材的建设原则是：

1. 保证基础，确保后劲

科技的发展，要求工程技术人员必须具备终生学习的能力。为此，从内容安排上，保证学生有较厚实的基础，满足本科教学的基本要求，使学生日后具有较强的发展后劲。

2. 突出特色，强化应用

围绕培养目标，以工程应用为背景，通过理论与工程实际相结合，构建工程应用型本科教育系列教材特色。本套系列教材的内容、结构遵循如下9字方针：知识新、结构新、重应用。教材内容的要求概括为：“精”、“新”、“广”、“用”。“精”指在融会贯通教学内容的基础上，挑选出最基本的内容、方法及典型应用；“新”指在将本学科前沿的新进展和有关的技术进步新成果、新应用等纳入教学内容，以适应科学技术发展的需要，妥善处理好传统内容的继承与现代内容的引进，用现代的思想、观点和方法重新认识基础内容和引入现代科技的新内容，并将这些按新的教学系统重新组织；“广”指在保持本学科基本体系下，处理好与其相邻以及交叉学科的关系；“用”指注重理论与实际融会贯通，特别是注入工程意识，包括经济、质量、环境等诸多因素对工程的影响。

3. 抓住重点，合理配套

工程应用型本科教育系列教材的重点是专业课（专业基础课、专业课）教材的建设，并做好与理论课教材建设同步的实践教材的建设，并力争做好与之配套的电子教材的建设。

4. 精选编者，确保质量

遴选一批既具有丰富的工程实践经验，又具有丰富的教学实践经验的教师担任编写任务，以确保教材质量。

我们相信，本套系列教材的出版，对我国工程应用型人才培养质量的提高必将产生积极作用，会为我国经济建设和社会发展作出一定的贡献。

机械工业出版社颇具魄力和眼光，高瞻远瞩，及时提出并组织编写这套系列教材，他们为编好这套系列教材做了认真细致的工作，并为该套系列教材的出版提供了许多有利的条件，在此深表衷心感谢！

编委会主任 刘国荣教授
湖南工程学院院长

前 言

本教材为应用型本科材料成形及控制工程专业的规划教材，是为适应材料成形及控制工程专业课程的教学要求而编写的。

挤压技术作为一种高效、优质、低消耗的精密成形技术，在金属材料的塑性成形领域中得到迅速发展和广泛应用。特别是20世纪90年代以来，工业发达国家汽车工业开始进行战略调整，逐渐加强了生产当地化、人才本土化的趋势，中国汽车工业参与全球化的重要领域就是汽车零部件生产。汽车工业的发展促进了精密成形技术及装备的发展。但是长期以来，我国挤压技术产业化工作没有得到良性发展，与工业先进国家相比有较大的差距，人才较为匮乏，与逐步成长的精密锻件市场不相适应，因此不少高校为相关专业开设了挤压技术课。但是，目前可供选用的教材品种较少，经材料成形及控制专业教材指导委员会讨论决定组织编写《挤压工艺及模具》教材。

本教材系统地介绍了挤压工艺及模具设计的相关理论、工艺及模具设计知识。在内容上以介绍冷挤压工艺及模具设计为主，同时兼顾到热挤压技术和温挤压技术。考虑到工业发展状况，铝型材挤压技术在近十几年来发展很快，故本书加强了对铝型材挤压的内容介绍。

本书可作为高等学校材料成形及控制工程专业、模具设计与制造专业等机械工程类、材料工程类的本、专科教材，亦可供从事相关领域工程技术人员参考。

在编写时注意以下几点：

(1) 注重内容宽与精相结合 内容覆盖范围宽，包括冷挤压、热挤压、温挤压，以及零件挤压、型材挤压。内容精炼，每章内容精心取舍。

(2) 注重图例新、知识新 随着制造技术的发展，模具加工设备也得到了很快的更新，模具结构及加工技术也相应地发生了变化，老的教材及资料中不少图例老化，对教学及生产容易产生误导，近些年来模具材料的发展变化也很大，本书的编写将要注重知识内容的更新。

(3) 注重理论与工程实践的结合 教材中的例子尽可能选自生产一线，有利于应用型人才的培养，其工艺和方法亦对从事挤压的技术人员有参考价值。

全书共分十章。第一、二、四、五章由南京工程学院贾俐俐编写；第三章、



第六章的第一至第八节、第十章由上海工程技术大学张水忠编写；第七、第八章由上海工程技术大学徐新成编写；第九章由广东工业大学潘晓涛编写；第六章的第九节由南京工程学院谢斌编写。全书由贾俐俐教授任主编，张水忠副教授任副主编，合肥工业大学洪深泽教授任主审。

本书在编写过程中得到同行的大力支持，通过借鉴参考文献中的研究成果，丰富了本书的内容；尤其得到了合肥工业大学洪深泽教授和上海交通大学吴公明教授的悉心指导和帮助，在此一并表示衷心感谢。由于编者水平有限，不当之处敬请读者提出宝贵意见和建议。

编 者

2004年4月

目 录

序

前言

第一章 绪论	1
第一节 挤压的定义和分类	1
第二节 挤压的特点	4
第三节 挤压技术的历史与发展	7
第二章 挤压基本原理	11
第一节 挤压变形的金属流动分析	11
第二节 挤压变形的应力与应变	15
第三节 挤压变形的附加应力与残余应力	18
第四节 挤压件的常见缺陷	20
第五节 挤压对金属组织和力学性能的影响	22
思考与练习题	24
第三章 冷挤压材料及挤压前准备	26
第一节 冷挤压常用材料	26
第二节 冷挤压坯料的制备	28
第三节 坯料的软化处理、表面处理及润滑	32
思考与练习题	40
第四章 冷挤压力及冷挤压设备	41
第一节 冷挤压力与行程的关系	41
第二节 影响冷挤压力的主要因素	42
第三节 冷挤压力的计算	44
第四节 冷挤压设备的选择	63
思考与练习题	68
第五章 冷挤压加工工序的设计	70
第一节 冷挤压零件的分类	70
第二节 冷挤压零件的设计	73



第三节	冷挤压许用变形程度	75
第四节	不同挤压方法的一次成形范围	77
第五节	冷挤压件的加工精度	84
第六节	冷挤压工艺方案的制订	89
第七节	冷挤压工序设计举例	93
	思考与练习题	104
第六章	冷挤压模具设计	105
第一节	冷挤压模具的结构及分类	105
第二节	模具工作部分的设计	111
第三节	预应力组合凹模的设计	120
第四节	卸件和顶出装置的设计	129
第五节	导向装置的设计	131
第六节	压力垫板的设计	133
第七节	凸模和凹模的紧固方法	134
第八节	冷挤压模具材料及选用方法	136
第九节	冷挤压模具的设计实例	138
	思考与练习题	144
第七章	热挤压	145
第一节	热挤压概述	145
第二节	热挤压件图的绘制	147
第三节	热挤压坯料的加热	150
第四节	热挤压润滑方法	155
第五节	热挤压模具结构及模具材料	157
第六节	热挤压压力的计算	162
第七节	热挤压件的冷却及热处理	165
第八节	热挤压件质量及力学性能	167
	思考与练习题	168
第八章	温挤压	169
第一节	温挤压概述	169
第二节	温挤压温度的选择	171
第三节	温挤压坯料的加热及模具预热	177
第四节	温挤压压力的计算	179
第五节	温挤压用润滑剂	184
第六节	温挤压模具	186



第七节 温挤压件的质量和力学性能	190
思考与练习题	193
第九章 型材挤压	194
第一节 型材挤压方法概述	194
第二节 型材挤压力的计算	197
第三节 铝型材常用合金及生产工艺过程	199
第四节 型材挤压工艺	202
第五节 型材挤压模具的分类、组装方式和挤压 设备	208
第六节 型材挤压模具的设计	214
第七节 型材挤压模具材料	241
思考与练习题	243
第十章 挤压新技术新工艺	245
第一节 静液挤压	245
第二节 等温挤压	250
第三节 其他挤压工艺	251
第四节 挤压工艺 CAD 简介	259
参考文献	261

第一章 绪 论

第一节 挤压的定义和分类

一、挤压定义

挤压是对将放在模具模腔（或挤压筒）内的金属坯料施加外力，迫使金属从模孔中挤出，获得所需断面形状、尺寸并具有一定力学性能的挤压制件的塑性加工方法。挤压变形的特征是由大截面向小截面的变形。

挤压既可在专用挤压机上进行，也可在一般的机械压力机、液压机、摩擦压力机以及高速锤上进行。

二、挤压分类

1. 按照挤压坯料的温度分类

(1) 冷挤压 一般指在回复温度以下的挤压，对于黑色金属常指在室温中对坯料进行的挤压。

(2) 温挤压 将坯料加热到金属再结晶温度以下、回复温度以上某个适当的温度范围内进行的挤压。对于黑色金属，又以 600°C 为界，划分为低温温挤压和高温温挤压。

(3) 热挤压 将坯料加热至金属再结晶温度以上的某个温度范围内进行的挤压。黑色金属的热挤压温度一般在 1000°C 以上，铝的热挤压温度则为 450°C 以上。

严格地说，冷挤压和温挤压皆属冷压力加工范畴，是指在金属的再结晶温度以下进行的挤压变形。

2. 按照毛坯材料种类分类

(1) 有色金属挤压 被挤坯料为有色金属及其合金。

(2) 黑色金属挤压 被挤坯料为黑色金属及其合金。

3. 按照加工对象的属性分类

(1) 一次塑性加工的挤压 主要应用于生产原材料的挤压，如各种型材、管材等，其中铝型材的挤压近 20 年来得到迅速发展。



(2) 二次塑性加工的挤压 主要用于挤压零件的生产。

4. 按照挤压时金属坯料流动方向与凸模运动方向之间的关系分类

常见的挤压方法可分为：正挤压、反挤压、复合挤压、径向挤压等基本挤压方法。

三、挤压的基本方法

(1) 正挤压 挤压时金属坯料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 1-1a）和空心件正挤压（图 1-1b）。挤压件的断面形状既可以是圆形也可以是非圆形。

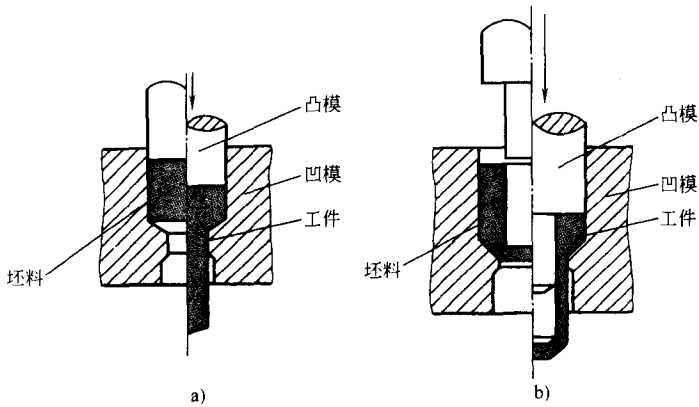


图 1-1 正挤压

a) 实心件正挤压 b) 空心件正挤压

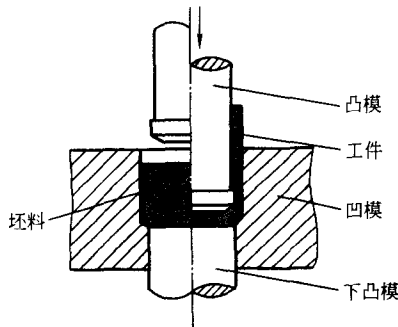


图 1-2 反挤压

(2) 反挤压 挤压时金属坯料的流动方向与凸模的运动方向相反，见图 1-2。反挤压法适用于制造断面是圆形、方形、长方形、“山”形、多层圆形、多



格盒形等的空心件。

(3) 复合挤压 一部分金属坯料的挤出方向与凸模的运动方向相同, 另一部分金属坯料的挤出方向与凸模的运动方向相反, 是正挤和反挤的复合, 见图 1-3。复合挤压法适用于制造断面是圆形、方形、六角形、齿形等的双杯类、杯-杆类或杆-杆类挤压件, 也可以是等断面的不对称挤压件。

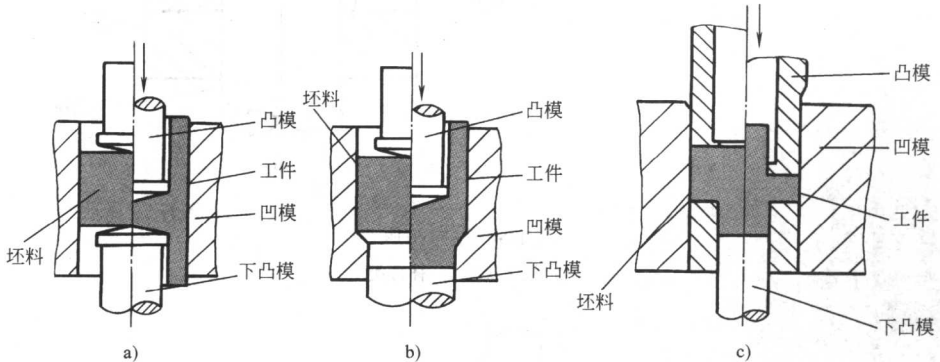


图 1-3 复合挤压

a) 双杯类 b) 杯-杆类 c) 杆-杆类

(4) 减径挤压 它是一种变形程度较小的变态正挤压法, 坯料断面仅作轻度缩减, 见图 1-4。减径挤压法主要用于制造直径差不大的阶梯轴类挤压件以及作为深孔薄壁杯形件的修整工序。减径挤压力低于坯料杆部的屈服力, 因此其模具可以是开式的, 所以也叫“开式挤压”或“无约束正挤压”。它特别适合于长轴类件的挤压, 是加工带有多台阶轴的有效方法, 并适合于加工沟槽浅的花键轴和三角形齿花键轴。

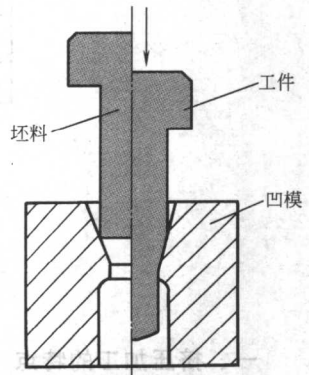


图 1-4 减径挤压

以上是挤压工艺中应用最广的几种方法, 它们的共同特点是: 金属流动方向都与凸模轴线平行, 因此又统称为轴向挤压法。

(5) 径向挤压 挤压时金属的流动方向与凸模的运动方向相垂直, 见图 1-5。可以成形枝叉类零件及杯形类零件, 还可以制造花键轴的齿形部分以及直齿和螺旋齿小模数齿轮的齿形部分等。

(6) 墩挤复合法 它是将局部墩粗与挤压结合在一起的加工方法, 见图 1-6。该方法主要用于制造带凸缘和粗腰形的杆类挤压件。

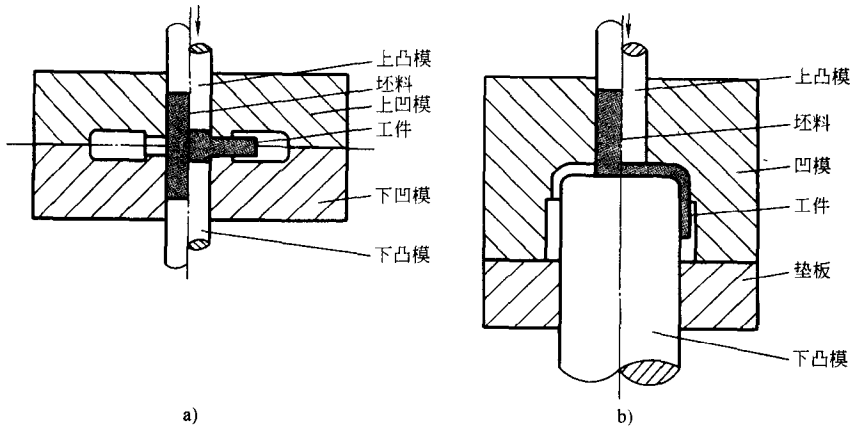


图 1-5 径向挤压

a) 枝叉类 b) 杯形类

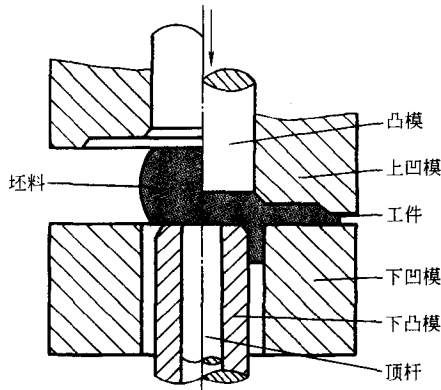


图 1-6 镦挤复合示意图

第二节 挤压的特点

一、挤压加工的特点

挤压加工有许多特点，主要表现在挤压变形过程的应力应变状态、金属流动行为、产品的综合质量、生产的灵活性与多样性、生产效率与成本等方面。

(1) 提高金属的变形能力 金属在挤压时处于强烈的三向压应力状态，可以充分发挥其塑性，获得大变形量。例如，纯铝的挤压比（挤压坯料断面积与制品断面积之比）可以达到 500，纯铜的挤压比可达 400，钢的挤压比可达 40 ~ 50。对于难加工乃至不能加工的低塑性难变形金属及合金，甚至有如铸铁一类



脆性材料，也可采用挤压法进行加工。

(2) 制品综合质量高 挤压变形可以改善金属材料的组织，提高其力学性能，特别是对于一些具有挤压效应的铝合金，其挤压制品在淬火时效后，纵向（挤压方向）力学性能远高于其他加工方法生产的同类产品。与轧制、锻造等加工方法相比，挤压制品的尺寸精度高、表面质量好。

(3) 节约原材料 挤压属于少、无切削加工，大大节约了原材料。

(4) 产品范围广 挤压加工不但可以生产断面形状简单的工件、管、棒、线材，而且还可以生产断面形状复杂的实心 and 空心件、型材、制品断面沿长度方向分阶段变化的和逐渐变化的变断面型材，其中许多断面形状的制品是采用其他塑性加工方法所无法成形的。挤压制品的尺寸范围也非常广。

(5) 生产灵活性大、生产效率高 挤压加工具有很大的灵活性，只需更换模具就可以在同一台设备上生产形状、尺寸规格和品种不同的产品。挤压操作简便，容易掌握，生产效率高，对工人技术等级要求较低。

(6) 工艺流程简单、设备投资较少。

二、冷挤压的特点

(一) 除了上述的共性优点外，冷挤压还具有以下优点

(1) 能够得到强度大、刚性好而质量轻的零件 在冷挤压过程中金属的变形剧烈，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。

(2) 零件的精度等级高、表面粗糙度值低 表面粗糙度一般在 $R_a = 0.4 \sim 1.6\mu\text{m}$ 以下，精度等级可达 IT7 ~ IT8 级。

(3) 节约能源，工作环境得到较大改善。

(二) 冷挤压的主要问题

由于冷挤工艺具有上述优点，它已越来越多地用来大量生产软质金属、低碳钢、低合金钢零件。但是冷挤的优点往往不能简单的方法发挥出来，因为冷挤压是金属在冷态下、强烈的三向压应力状态下变形的，变形抗力较大。现以制造一个直径 38mm、厚 5.6mm、高 100mm 的杯形低碳钢零件为例，采用深拉深方法加工，最后一道拉深工序仅需变形力 170kN；而采用冷挤压加工则需变形力 1320kN。作用在凸模上的单位压力达到 2300MPa 以上。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，最好的硬质合金也不超过 3500MPa。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