



普通高等教育规划教材

# 冲压工艺及冲模设计

翁其金 徐新成 主编

 机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS



普通高等教育规划教材

# 冲压工艺及冲模设计

主 编：翁其金

徐新成

参 编：张丽桃

陈胤

张水忠

~~朱~~令江



机械工业出版社

本书共十章。主要内容是分析冲裁、弯曲、拉深、其他冲压成形等冲压基本工序；叙述了自动模、多工位级进冲压成形及模具、非轴对称曲面零件的冲压成形及模具；论述了冲压变形基础、冲压工艺过程设计的基本原则及冲模设计的基本方法。

本书是大学本科材料成形及控制工程专业(模具方向)的教学用书,也可供从事模具设计与制造的工程技术人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

冲压工艺及冲模设计/翁其金,徐新成主编. —北京:  
机械工业出版社, 2004. 7  
普通高等教育规划教材  
ISBN 7-111-14649-2

I. 冲... II. ①翁... ②徐... III. ①冲压—工艺—  
高等学校—教材 ②冲模—设计—高等学校—教材  
IV. TG38

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 055058 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:倪少秋 版式设计:张世琴  
责任校对:刘志文 封面设计:陈沛 责任印制:施红  
北京铭成印刷有限公司印刷·新华书店北京发行所发行

2004 年 8 月第 1 版·第 1 次印刷

1000mm × 1400mm B5 · 10.75 印张 · 415 千字

定价:27.00 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)  
董幸生 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。

航天工程的先驱、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科学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

---

本书是根据普通高等教育本科材料成形及控制工程专业(模具方向)的教学计划及“冲压工艺及冲模设计”课程教学大纲编写的;是大学本科材料成形及控制工程专业的教学用书。

冷冲压在工业生产中应用十分广泛。本书在论述冲压变形基础与冲压工艺的基础上,详细叙述了正确设计冲模结构及确定冲模几何参数的基本方法,叙述了自动模的基本组成及工作原理、多工位级进冲压成形及模具、非轴对称曲面零件的冲压成形及模具。内容力求适应应用型本科教学要求,注重工程能力的培养。

本书由福建工程学院翁其金和上海工程技术大学徐新成任主编,哈尔滨工业大学(威海)崔令江任主审。全书共十章,其中翁其金编写第一、七、八章,徐新成编写第五、六章,华北航天工业学院张丽桃编写第三章,福建工程学院陈胤编写第二、十章,上海工程技术大学张水忠编写第四、九章。

有不足之处,请批评指正。

编 者

2003年10月



# 目 录

## 序

## 前言

第一章 概述	1
第二章 冷冲压变形基础	9
第一节 冷冲压变形的基本原理概述	9
第二节 冷冲压材料及其冲压成形性能	20
第三章 冲裁	34
第一节 冲裁概述	34
第二节 冲裁过程的分析	34
第三节 冲裁模间隙	37
第四节 凸模与凹模刃口尺寸的确定	42
第五节 冲裁件的工艺性	47
第六节 排样	50
第七节 冲裁力和压力中心的计算	55
第八节 冲裁模分类及典型冲裁模结构分析	60
第九节 冲裁模主要部件和零件的设计与选用	70
第十节 精密冲裁	101
第十一节 其他冲裁模	109
第四章 弯曲	117
第一节 弯曲变形过程及变形特点	117
第二节 最小弯曲半径	127
第三节 弯曲卸载后的回弹	130
第四节 弯曲件毛坯尺寸计算	136
第五节 弯曲力计算	138
第六节 弯曲件的工艺性	140
第七节 弯曲件的工序安排	144
第八节 弯曲模设计	145



<b>第五章 拉深</b> .....	157
第一节 拉深的基本原理 .....	157
第二节 旋转体拉深件毛坯尺寸的确定 .....	166
第三节 圆筒形件的拉深系数 .....	169
第四节 圆筒形件的拉深次数及工序尺寸确定 .....	172
第五节 圆筒形件拉深的压边力与拉深力 .....	180
第六节 阶梯形零件的拉深方法 .....	185
第七节 盒形件的拉深 .....	186
第八节 轴对称曲面形状零件的拉深 .....	194
第九节 拉深件的工艺性 .....	200
第十节 拉深模 .....	202
第十一节 其他拉深方法 .....	207
<b>第六章 其他冲压成形</b> .....	214
第一节 胀形 .....	214
第二节 翻孔与翻边 .....	219
第三节 缩口 .....	227
第四节 旋压 .....	229
第五节 校形 .....	232
<b>第七章 非轴对称曲面零件冲压</b> .....	235
第一节 非轴对称曲面零件冲压工艺 .....	235
第二节 非轴对称曲面零件冲模 .....	240
<b>第八章 自动模与多工位级进模</b> .....	252
第一节 冲压生产的自动化与自动模 .....	252
第二节 自动送料装置 .....	252
第三节 自动出件装置 .....	272
第四节 自动检测与保护装置 .....	274
第五节 自动模设计要点 .....	276
第六节 多工位级进模 .....	278
<b>第九章 板料特种成形技术</b> .....	305
第一节 爆炸成形 .....	305
第二节 电水成形 .....	306
第三节 电磁成形 .....	307
第四节 激光冲击成形 .....	308
第五节 超塑性成形 .....	309
<b>第十章 冲压工艺规程的制订</b> .....	311



第一节 制订冲压工艺过程的基础 .....	311
第二节 冲压工艺规程制订的步骤与内容 .....	317
第三节 冲压工艺规程制订的实例 .....	327
参考文献 .....	331

# 第一章 概 述

---

## 一、冷冲压的特点和应用

冷冲压是利用安装在压力机上的冲模对材料施加压力，使其产生分离或塑性变形，从而获得所需要零件(俗称冲压件或冲件)的一种压力加工方法。因为它通常是在室温下进行加工，所以称为冷冲压。冷冲压不但可以加工金属材料，而且还可以加工非金属材料 and 复合材料。

冲模是将材料加工成所需冲件的一种工艺装备。冲模在冷冲压中至关重要，一般来说，不具备符合要求的冲模，冷冲压就无法进行；先进的冲压工艺也必须依靠相应的冲模来实现。

冷冲压生产过程的主要特征是依靠冲模和冲压设备完成加工，便于实现自动化，生产率很高，操作简便。对于普通压力机，每台每分钟可生产几件到几十件冲压件，而高速冲床每分钟可生产数百件甚至千件以上冲压件。冷冲压所获得的零件一般无需进行切削加工，因而是一种节省能源、节省原材料的无(或少)切削加工方法。由于冷冲压所用原材料多是表面质量好的板料或带料，冲件的尺寸公差由冲模来保证，所以产品尺寸稳定、互换性好。冷冲压产品壁薄、质量轻、刚度好，可以加工成形状复杂的零件，小到钟表的秒针、大到汽车纵梁、覆盖件等。

但由于冲模制造一般是单件小批量生产，精度高，技术要求高，是技术密集型产品，制造成本高。因而，冷冲压生产只有在生产批量大的情况下才能获得较高的经济效益。

综上所述，冷冲压与其他加工方法相比，具有独到的特点，所以在工业生产中，尤其在大批量生产中应用十分广泛。相当多的工业部门都越来越多地采用冷冲压加工产品零部件，如机械制造、车辆生产、航空航天、电子、电器、轻工、仪表及日用品等行业。在这些工业部门中，冲压件所占的比重都相当大，不少过去用铸造、锻造、切削加工方法制造的零件，现在已被质量轻、刚度好的冲压件所代替。通过冲压加工，大大提高了生产率，降低了成本。可以说，如果在生产中不广泛采用冲压工艺，许多工业部门的产品要提高生产率、提高质量、降低成本，进行产品的更新换代是难以实现的。



## 二、冷冲压的现状和发展趋势

随着近代工业的发展，冷冲压技术得到迅速发展。

### 1. 冷冲压工艺方面

研究和推广应用旨在提高生产率和产品质量，降低成本和扩大冲压工艺应用范围的各种冲压新工艺是冲压技术发展的重要趋势。目前，国内外涌现并迅速用于生产的冲压先进工艺有精密冲压、柔性模(软模)成形、超塑性成形、无模多点成形、爆炸和电磁等高能成形、高效精密冲压技术以及冷挤压技术等等。这些冲压先进技术在实际生产中已经取得并将进一步取得良好的技术经济效果。

精密冲压(精冲)既是提高冲压件精度的有效方法，又是扩大冲压加工范围的重要途径。目前精密冲裁的精度可达 IT6 ~ IT7，板料厚度可达 25mm。精冲方法不但可以冲裁，还可以成形(精密弯曲、拉深、翻边、冷挤、压印和沉孔等)。柔性模成形能够成形出以普通冲压成形难以成形的材料和复杂形状的零件，并可以大为改善成形条件，提高极限变形程度。我国自主研制的具有国际领先水平的无模多点成形设备与无模多点成形计算机系统，可以根据需要改变变形路径与受力状态，提高材料的成形极限，快速经济地实现三维曲面的自动化成形。各种高能成形方法可以快速生产批量小、形状复杂、强度高的板料件，在航天、国防工业中具有重要的实用价值。利用金属在特定条件下具有超常的塑性，一次成形能替代多次常规成形工序，在提高生产率和产品精度，解决一些特殊产品的生产方面具有重要意义。冷挤压和温挤压在实现少无切削加工，提高生产率和产品质量方面具有显著的技术经济效果。国内外研究并在冲压生产中应用计算机模拟技术，预测、分析和解决板料成形过程中的问题，优化冲压成形工艺，这是冲压成形技术中特别应该注意的发展方向。激光快速成形技术及快速制模技术为新产品开发和快速制模开拓了广阔的发展前景。

### 2. 冲模设计与制造方面

冲模是实现冲压生产的基本条件。目前在冲模设计与制造上，有两种趋向应给予足够的重视。

(1) 模具结构与精度正朝着两方面发展 一方面为了适应高速、自动、精密、安全等大批量自动化生产的需要，冲模正向高效、精密、长寿命、多工位、多功能方向发展；另一方面，为适应市场上产品更新换代迅速的要求，各种快速成形方法和简易经济冲模的设计与制造也得到迅速发展。

高效、精密、多功能、长寿命多工位级进模和汽车覆盖件冲模的设计制造水平代表了现代冲模的技术水平。我国能够设计制造出机电一体化的达到国际先进水平的高效、精密、长寿命多工位级进模，工作零件精度达到 2 ~ 5 $\mu$ m，步距精度达到 2 ~ 3 $\mu$ m，总寿命达到 1 亿模次以上；我国汽车行业，已具备中档轿车成



套覆盖件冲模的生产能力，并在汽车试制和小批量生产中应用高强度树脂浇注成形覆盖件冲模，缩短试制周期，降低成本，加速了新车型的开发。

(2) 模具设计与制造的现代化 计算机技术、信息技术等先进技术在模具技术中得到广泛的应用，使模具设计与制造水平发生了深刻的革命性的变化。目前最为突出的是模具 CAD/CAE/CAM。在这方面，国际上有许多应用成熟的计算机软件，我国不但能消化、应用国外的有关软件，少数单位还能自行开发或正在开发模具 CAD/CAE/CAM 软件。在一些行业，如汽车行业的主要模具企业，实现了模具 CAD/CAE/CAM 一体化。尽管其总体水平与国际上的还有差距，但它代表了我国模具技术的发展成果与发展方向。

模具的加工方法迅速现代化。各种加工中心、高速铣削、精密磨削、电火花铣削加工、慢走丝线切割、现代检测技术等等已全面走向数控(NC)或计算机数控(CNC)化。许多加工手段大大突破了传统的技术水平，高速铣削的加工精度可达  $10\mu\text{m}$ ，表面粗糙度  $Ra \leq 1\mu\text{m}$ ，并可实现硬材料(60HRC)的加工，大大提高模具装配精度，优化了模具加工工艺；电火花铣削加工是以高速旋转的简单管状电极作三维或二维轮廓加工，类似数控铣削加工；现代电火花加工机床还可根据加工程序，自动从电极库更换电极；慢走丝线切割机的功能及自动化程度已相当高，目前切割速度已达  $300\text{mm}^2/\text{min}$ ，加工精度可达  $\pm 1.5\mu\text{m}$ ，表面粗糙度  $Ra$  可达  $0.1 \sim 0.2\mu\text{m}$ ；精密连续轨迹座标磨床可以磨削任何曲线轨迹，其定位精度可达  $1 \sim 2\mu\text{m}$ ；现代三坐标测量机除了能高精度测量复杂三维曲面的数据外，其良好的温度补偿、抗振保护和严密的防尘等装置，使得这种精密设备从严加隔离的测量场所走向在线生产现场检测。

在模具材料及热处理、模具表面处理等方面，国内外都进行了不少研制工作，并取得了很好的实际效果，冲模材料的发展方向是研制高强韧性冷作模具钢，如 65Nb、LD1、012Al、CG2、LM1、LM2 等就是我国研制的性能优良的冲模材料。

模具的标准化和专业化生产，已得到模具行业的广泛重视。这是由于模具标准化是组织模具专业化生产的前提，而模具的专业化生产是提高模具质量、缩短模具制造周期、降低成本的关键。我国已经颁布了冷冲压术语、冷冲模零部件的国家标准。冲模的模架等基础零部件已专业化、商品化。但总的来说，我国冲模的标准化和专业化水平还是比较低的，先进国家标准化已达  $70\% \sim 80\%$ 。

### 3. 冲压设备及冲压生产自动化方面

性能良好的冲压设备是提高冲压生产技术水平的基本条件。高效率、高精度、长寿命的冲模需要高精度、高自动化的冲压设备与之相匹配；为了适应冲压新工艺的需要，研制了许多新型结构的冲压设备；为了满足新产品少批量生产的需要，冲压设备朝多功能、数控方向发展；为提高生产率和安全生产，应用各种



自动化装置、机械手乃至机器人的冲压自动生产线和高速自动压力机纷纷投入使用。如数控四边折弯机、数控剪板机、数控“冲压加工中心”、激光切割与成形机、高速自动压力机等已经在生产中广泛应用。代表着冲压生产新趋势的冲压柔性制造单元(FMC)和冲压柔性制造系统(FMS)在我国也已开始使用。

#### 4. 冷冲压基本原理的研究

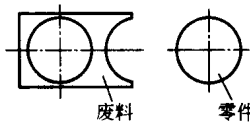
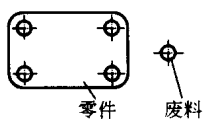
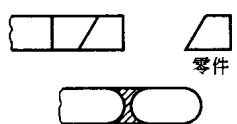
冷冲压工艺及冲模设计与制造方面的发展，均与冲压变形基本原理的研究取得进展是分不开的。例如，板料冲压工艺性能的研究，冲压成形过程应力应变分析和计算机模拟，板料变形规律的研究，从坯料变形规律出发进行坯料与冲模之间相互作用的研究，在冲压变形条件下的摩擦、润滑机理方面的研究等，为逐步建立起紧密结合生产实际的先进的冲压工艺及冲模设计方法打下了基础。因此，可以说冲压成形基本理论的研究是提高冲压技术的基础。在这方面，国内外的学者进行了不少工作，并取得了一定进展。

### 三、冷冲压基本工序的分类

冷冲压加工的零件，由于其形状、尺寸、精度要求、生产批量等各不相同，因此生产中所采用的冷冲压工艺方法也是多种多样的，概括起来可分为两大类，即分离工序和成形工序。分离工序是指使板料按一定的轮廓线分离而获得一定形状、尺寸和切断面质量的冲压件(俗称冲裁件)的工序；成形工序是指坯料在不破裂的条件下产生塑性变形而获得一定形状和尺寸的冲压件的工序。

上述两类工序，按冲压方式不同又具体分为很多基本工序，见表 1-1、表 1-2 和表 1-3。

表 1-1 分离工序

工序名称	工序简图	特点及应用范围
落料		将材料沿封闭轮廓分离，被分离下来的部分大多是平板形的零件或工序件
冲孔		将废料沿封闭轮廓从材料或工序件上分离下来，从而在材料或工序件上获得需要的孔
切断		将材料沿敞开轮廓分离，被分离的材料成为零件或工序件



(续)

工序名称	工序简图	特点及应用范围
切 舌		将材料局部而不是完全分离，并使被局部分离的部分达到工件所要求的一定位置，不再位于分离前所处的平面上
切 边		利用冲模修切成形工序件的边缘，使之具有一定形状和尺寸
剖 切		用剖切模将成形工序件一分为二，主要用于不对称零件的成双或成组冲压成形之后的分离
整 修		沿外形或内形轮廓切去少量材料，从而降低断面粗糙度，提高断面垂直度和零件尺寸精度
精 冲		用精冲模冲出尺寸精度高，断面光洁且垂直的零件


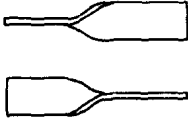
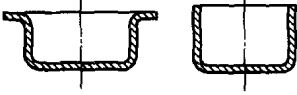
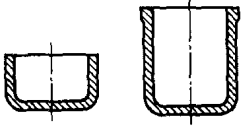
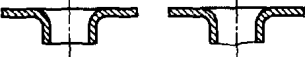

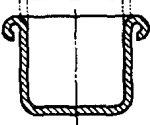
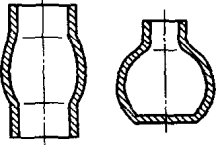
表 1-2 成 形 工 序

工序名称	工序简图	特点及应用范围
弯 曲		用弯曲模使材料产生塑性变形，从而弯成一定曲率、一定角度的零件。它可以加工各种复杂的弯曲件
卷 边		将工序件边缘卷成接近封闭圆形，用于加工类似铰链的零件





(续)

工序名称	工序简图	特点及应用范围
拉弯		在拉力与弯矩共同作用下实现弯曲变形, 使坯料的整个弯曲横断面全部受拉应力作用, 从而提高弯曲件精度
扭弯		将平直或局部平直工序件的一部分相对另一部分扭转一定角度
拉深		将平板形的坯料或工序件变为开口空心件, 或把开口空心工序件进一步改变形状和尺寸成为开口空心件
变薄拉深		将拉深后的空心工序件进一步拉深, 使其侧壁减薄, 高度增大, 以获得底部厚度大于侧壁的零件
翻孔		沿内孔周围将材料翻成竖边, 其直径比原内孔大
翻边		沿外形曲线周围翻成侧立短边
卷缘		将空心件口部边缘卷成接近封闭圆形, 用于加工类似牙杯的零件
胀形		将空心工序件或管状件沿径向往外扩张, 形成局部直径较大的零件