

中国模具工业协会人才培训部推荐丛书  
成形工艺与现代模具技术丛书

# 冷温热挤压技术

Cold/Warm/Hot Extrusion Technology

赵震 陈军 吴公明 编著

电子工业出版社  
Publishing House of Electronics Industry  
北京·BEIJING

# 总 序

冲压、锻造、压铸、注塑（或压塑）、挤压（冷锻）、旋压等材料加工工艺属于少无切削加工工艺，该类成形工艺方法与切削加工相比，具有生产效率与材料利用率高、产品质量与稳定性好、能耗与成本低等显著特点，因而在电子信息、仪器仪表、交通、轻工、家电、航天航空、兵器等行业中得到广泛应用。上述各项成形工艺是通过模具实现材料成形并获得所需形状的半成品或成品零件。因此，模具是现代加工制造业规模生产不可或缺的工艺设备，材料成形工艺与模具在产品生产的各行各业中发挥着极其重要的作用。

近年来，随着我国经济的腾飞和产品制造业的蓬勃发展，模具制造业也相应进入了高速发展的时期。据中国模具工业协会统计，1995年我国模具工业总产值约为145亿元，而2003年已达450亿元左右，年均增长14%。另据统计，我国除台湾、香港、澳门地区外，现有模具生产厂点已超过20000家，从业人员有60多万人，模具年产值在1亿元以上的企业已达十多家。可以预见，我国经济的高速发展将对模具提出更为大量、更为迫切的需求，特别需要发展大型、精密、复杂、长寿命的模具。同时要求模具设计、制造和生产周期达到全新的水平。我国模具制造业面临着发展机遇，无疑也面临着更大的挑战。

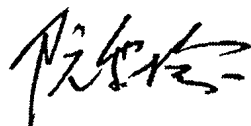
我国加入世界贸易组织以来，模具制造业随之面临国际市场日益激烈的竞争局面。与国外模具企业相比，我国模具企业无论是在生产设备能力与先进技术应用方面，还是在人才的技术素质与培养方面，普遍存在差距。要改变这一现状，势必在增添先进设备及采用先进的模具制造技术（如CAD/CAE/CAM、高速切削、快速原型制造与快速制模等）之外，更急需的是能掌握各种材料成形工艺和模具设计、制造技术，且能熟练应用这些高新技术的专业人才。为了适应我国当前的教育改革，一些高校已将原有的塑性成形、铸造、焊接等专业融入大口径的材料加工工程或机械工程专业，材料成形工艺与模具技术的研究向更高层次发展。同时，各大中专院校与技工学校纷纷开设材料成形与模具专业，积极培养不同层次、能熟练掌握各种成形工艺和模具设计与制造技术的专门人才，逐步形成了我国模具人才培养的基本格局。

为适应我国模具人才培养的需要，电子工业出版社与中国模具工业协会人才培训部合作，邀请一些多年从事材料成形与模具相关领域研究或教学工作的专家编写了《成形工艺与现代模具技术》系列丛书。这套丛书充分搜集和纳入了国内外有关材料成形工艺与模具技术方面的最新研究与应用成果，以及模具生产实践中的成熟经验。内容涵盖了材料成形原理、工艺设计计算、模具设计方法以及应用实例，既有一定的理论基础，但更侧重于实际应用。

该系列丛书包括《模具CAD/CAE/CAM》、《快速成形及快速制模》、《现代塑料成形与模具》、《冲压工艺与模具》、《冷温热挤压技术》、《压铸工艺与模具》、《模具制造技术》共7册，可作为高级模具设计与制造人员的培训教材，也可作为学校相关学科师生进行教学、科研的专业技术参考书。

我们认为，该系列丛书的出版为模具技术人员的培训提供了一套具有较高水平且学以致用教材，有利于我国模具制造业的人才培养，对于加快我国模具技术的发展将起到积极的促进作用。

书中可能有疏漏和不妥之处，敬请读者加以批评指正。

A handwritten signature in black ink, appearing to read '颜尔宾' (Yan Erbin).

中国工程院院士、上海交通大学教授

# 前 言

我国的冷锻（冷挤压）技术起源于 20 世纪 50 年代末，在 20 世纪 60 年代至 20 世纪 70 年代曾得到很大范围的应用，但在其后的发展中经历了曲折的历程。我国汽车工业的高速发展，为冷温热精密锻造技术的发展带来契机。为推动我国冷温热精密锻造行业的发展与技术进步，上海交通大学模具 CAD 国家工程研究中心（塑性成形工程系、上海模具技术研究所）承担了《成形工艺与现代模具技术》系列丛书中的《冷温热挤压技术》一书的编著任务。

本书来源于作者在冷温挤压成形领域长期的研究与实践，在编写过程中，参阅了许多国内外相关文献，特别感动于近半世纪以来我国冷温热精密挤压领域的前辈们在艰苦的条件下辛勤耕耘取得的丰硕成果。阮雪榆院士于 1963 年、1976 年主编的《冷挤压技术》始终引领着本书作者的编写工作。本书正是在学习和继承师辈们研究成果的基础上编著而成的。

本书共分三篇，第一篇论述了冷挤压技术，第二篇论述了温挤压技术，第三篇论述了热挤压及热闭塞成形技术。本书由上海交通大学模具 CAD 国家工程研究中心赵震博士任主编，陈军教授、吴公明教授任副主编。第一篇由赵震博士、吴公明教授、胡成亮博士编写；第二篇、第三篇由陈军教授、吴公明教授、胡成亮博士编写。江苏森威精锻有限公司徐祥龙高级工程师对本书的部分章节提出了许多建设性的修改建议；此外，该公司为本书提供了封面照片的素材。

联合国教科文组织于 2003 年在上海交通大学设立“联合国教科文组织/日本禧玛诺公司冷锻技术教席(UNESCO/SHIMANO Chair in Cold Forging Technology at Shanghai Jiao Tong University, <http://forgechair.sjtu.edu.cn>)”，该教席担负着在我国研究、推广冷锻技术的使命。本书作者均为该冷锻技术教席的主要成员，本书也是实现教席目标的重要途径。

本书可作为精密塑性成形领域教学科研人员的参考书，也可作为精密挤压成形技术培训班的教材。

编 著 者  
2008 年 1 月  
于上海交通大学

# 目 录

## 第一篇 冷挤压（冷锻）成形工艺与模具

第 1 章 冷锻成形基本原理 .....	2
1.1 冷锻概述 .....	4
1.1.1 冷锻的概念 .....	4
1.1.2 冷挤压的特点 .....	5
1.1.3 冷锻的发展 .....	7
1.2 冷锻的工艺分类及变形程度 .....	11
1.2.1 冷锻的工艺分类 .....	11
1.2.2 冷锻的变形程度 .....	15
1.3 冷挤压基本原理 .....	17
1.3.1 主应力状态对冷挤压工艺的影响 .....	17
1.3.2 冷挤压的金属流动 .....	18
1.3.3 冷挤压的附加应力、残余应力与外摩擦 .....	21
1.3.4 冷挤压对力学性能的影响 .....	22
1.4 冷锻用原材料与制坯 .....	31
1.4.1 冷锻用原材料 .....	31
1.4.2 毛坯制备 .....	34
1.5 毛坯的软化处理、表面处理及润滑 .....	35
1.5.1 毛坯的软化热处理 .....	35
1.5.2 毛坯的表面处理与润滑 .....	37
第 2 章 冷锻工艺设计 .....	41
2.1 冷挤压件的结构要素 .....	41
2.2 冷挤压件的精度 .....	43
2.2.1 冷挤压件的公差 .....	43
2.2.2 冷挤压件尺寸精度的影响因素 .....	47
2.3 冷挤压许用变形程度 .....	48
2.3.1 杆件正挤压的许用变形程度 .....	48
2.3.2 反挤压杯形件的许用变形程度 .....	50
2.4 冷锻工艺 .....	53
2.4.1 镦锻工艺 .....	53
2.4.2 冷挤压的复合挤压与刚性平移 .....	55
2.4.3 镦挤复合工艺 .....	56

2.4.4	2.4.5	2.5	2.5.1	2.5.2	2.5.3	2.5.4	2.5.5	第3章	3.1	3.1.1	3.1.2	3.2	3.3	3.3.1	3.3.2	3.4	3.4.1	3.4.2	3.4.3	3.4.4	3.4.5	3.5	3.5.1	3.5.2	3.5.3	3.6	3.7	3.7.1	3.7.2	3.7.3	3.7.4	3.7.5	3.7.6	第4章	4.1	4.2	4.2.1
								冷锻模具设计	冷锻模具结构设计的基本概念	冷锻模具结构设计的基本要求	冷锻模具结构设计的基本特点	模架结构型式	冷挤压模具工作部分	凸模及其设计	凹模及其设计	冷挤压组合凹模	组合凹模的特点	组合凹模结构型式的确定	组合凹模的设计计算	组合凹模的压合工艺	钢带缠绕预应力组合凹模	冷挤压模具辅助装置	卸件与顶出装置	导向装置	压力垫板	冷挤压模具材料	冷锻模具寿命和质量	模具寿命的定义	模具寿命问题研究	模具失效形式	冷锻模具的质量	模具寿命的评估与优化	模具管理策略	冷挤压产品质量分析及成形实例	冷挤压产品质量分析	冷挤压成形实例	大高径比的齿形件冷挤压
								89	89	89	89	89	92	93	98	101	101	102	102	106	106	108	108	110	111	113	118	119	120	123	125	125	128	129	129	138	138

4.2.2	万向节十字轴冷闭塞挤压 .....	139
4.2.3	多台阶长轴类零件冷挤压 .....	142
4.2.4	挤压工艺图例 .....	143
4.3	冷挤压工艺设计要点总结 .....	157
4.3.1	设计要点 .....	157
4.3.2	实例分析 .....	157

## 第二篇 温挤压（温锻）成形工艺与模具

<b>第 5 章</b>	<b>温锻成形基本原理 .....</b>	<b>162</b>
5.1	温锻成形的定义 .....	162
5.2	温挤压成形的特点 .....	163
<b>第 6 章</b>	<b>温挤压（温锻）成形工艺设计 .....</b>	<b>165</b>
6.1	温锻温度的选择 .....	165
6.2	温挤压变形力的计算 .....	169
6.2.1	影响温挤压变形力的因素 .....	169
6.2.2	温挤压变形力的计算方法 .....	169
6.3	温挤压成形工序的确定 .....	172
6.3.1	温挤压变形程度的计算 .....	172
6.3.2	温挤压变形工序的确定原则 .....	172
6.4	坯料的加热、润滑条件和模具的预热 .....	173
6.4.1	坯料的软化处理 .....	173
6.4.2	坯料的加热规范 .....	173
6.4.3	坯料的润滑条件 .....	174
6.4.4	模具的预热和冷却 .....	175
<b>第 7 章</b>	<b>温锻模具设计 .....</b>	<b>176</b>
7.1	温锻模具的要求 .....	176
7.2	温锻模具结构 .....	178
7.3	凸模与凹模设计 .....	179
7.3.1	凸模设计 .....	179
7.3.2	凹模设计 .....	180
7.4	组合凹模设计 .....	182
<b>第 8 章</b>	<b>温锻成形实例 .....</b>	<b>183</b>
8.1	杯-杆型零件的温挤压成形 .....	183
8.2	锌合金等温成形 .....	184
8.3	洗衣机制动轮温挤压成形 .....	186
8.4	减压器阀体的温挤压成形 .....	187
8.5	高强度钢壳体的温挤压成形 .....	188

8.6	衬套体等温挤压成形 .....	189
8.7	端面齿轮的温锻成形 .....	191

### 第三篇 热挤压及闭塞成形工艺与模具

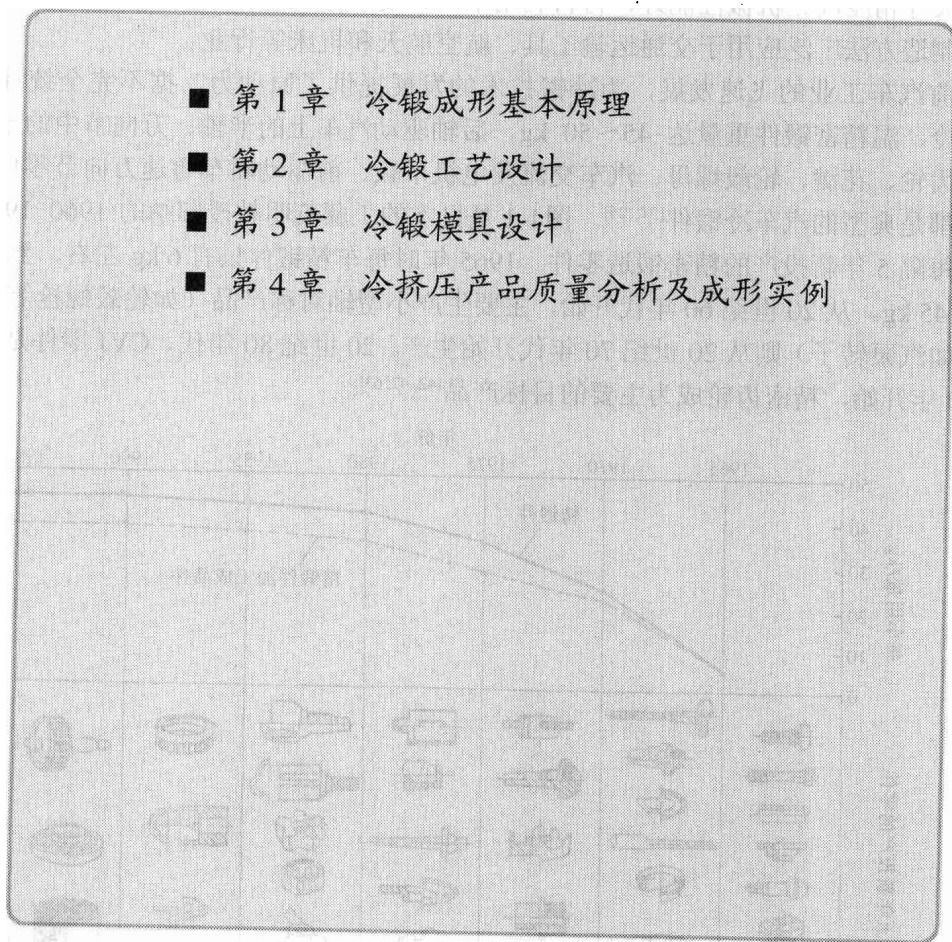
<b>第9章</b>	<b>热挤压及闭塞成形基本原理 .....</b>	<b>196</b>
9.1	热塑性成形的定义 .....	196
9.2	热塑性成形的分类 .....	197
9.3	热闭塞成形的优缺点 .....	198
<b>第10章</b>	<b>热挤压及闭塞成形工艺设计 .....</b>	<b>201</b>
10.1	热挤压及闭塞成形件的工艺性分析 .....	201
10.2	变形程度和变形力的计算 .....	204
10.2.1	变形程度的计算 .....	204
10.2.2	影响热变形力的主要因素 .....	204
10.2.3	热变形力的确定 .....	205
10.3	热挤压及闭塞成形工艺设计 .....	207
10.4	坯料制备和润滑条件 .....	211
10.4.1	坯料的制备公差 .....	211
10.4.2	坯料制备的断面质量要求 .....	212
10.4.3	下料方法 .....	213
10.4.4	润滑条件 .....	213
10.5	加热规范和成形后的冷却 .....	214
10.5.1	成形温度范围 .....	214
10.5.2	加热方法 .....	215
10.5.3	成形后的冷却常见缺陷 .....	216
10.5.4	冷却方法 .....	217
<b>第11章</b>	<b>热挤压及闭塞成形模具设计 .....</b>	<b>218</b>
11.1	热挤压及闭塞成形模具设计的主要内容 .....	218
11.2	模具结构的类型 .....	218
11.3	凸、凹模工作部分设计 .....	222
11.3.1	可分凹模设计原则 .....	222
11.3.2	凸模设计 .....	223
11.3.3	凹模设计 .....	227
11.3.4	组合凹模设计 .....	230
11.3.5	可分凹模设计 .....	230
11.3.6	导向装置 .....	231
11.3.7	卸料装置 .....	232
11.4	金属分流机构的设计 .....	233
11.5	模具结构和尺寸对成形质量的影响 .....	238



11.6	模具材料及其性能要求 .....	243
11.7	热体积成形设备 .....	246
11.7.1	热体积成形设备的力能特性 .....	246
11.7.2	各类闭式模锻设备的特点和适用范围 .....	248
<b>第 12 章</b>	<b>热挤压及闭塞成形实例 .....</b>	<b>250</b>
12.1	轮辋热挤压成形 .....	250
12.2	轮毂轴管的热挤压成形 .....	252
12.3	汽车半轴的热挤压成形 .....	253
12.4	氧气喷头的热挤压成形 .....	255
12.5	等速万向节叉轴的热闭塞锻造 .....	257
12.6	直齿圆柱齿轮的热精密成形 .....	258
12.7	万向节十字轴套筒热挤压成形 .....	261
12.8	叉形件的闭塞锻造 .....	263
<b>参考文献</b>	.....	<b>266</b>

# 第一篇 冷挤压（冷锻）成形工艺与模具

- 第1章 冷锻成形基本原理
- 第2章 冷锻工艺设计
- 第3章 冷锻模具设计
- 第4章 冷挤压产品质量分析及成形实例



# 第 1 章 冷锻成形基本原理

冷锻是一种优质、高效、低成本的精密塑性成形工艺，具有切削加工无可比拟的优点，如制件尺寸精度高、机械性能好、材料利用率高、便于大批量自动化生产等，可以作为最终产品的制造方法广泛应用于交通运输工具、航空航天和机床等行业。

当前汽车工业的飞速发展，为冷锻技术的发展提供了原动力，据不完全统计，每辆轿车中的冷、温精密锻件重量达 45~50 kg，后轴驱动汽车上的半轴、万向节中的十字轴、直齿圆锥齿轮、花键、轮毂螺母、汽车交流发电机爪极、前驱动轿车等速万向节零件、同步器齿环等都是典型的汽车冷锻件<sup>[21, 25]</sup>。图 1-1 是日本的工藤英明教授归纳的 1960~1995 年间日本轿车每隔 5 年新投产的精密锻造零件。1965 年时每车精锻件只有 6 kg 左右，到 1995 年已增加至 45 kg。从 20 世纪 60 年代开始，主要生产小型轴对称产品（如轮毂螺栓等），较大的锻件（如汽泵转子）则从 20 世纪 70 年代开始生产。20 世纪 80 年代，CVJ 零件是重要产品，从 1990 年开始，精密齿轮成为主要的目标产品<sup>[42, 47, 63]</sup>。

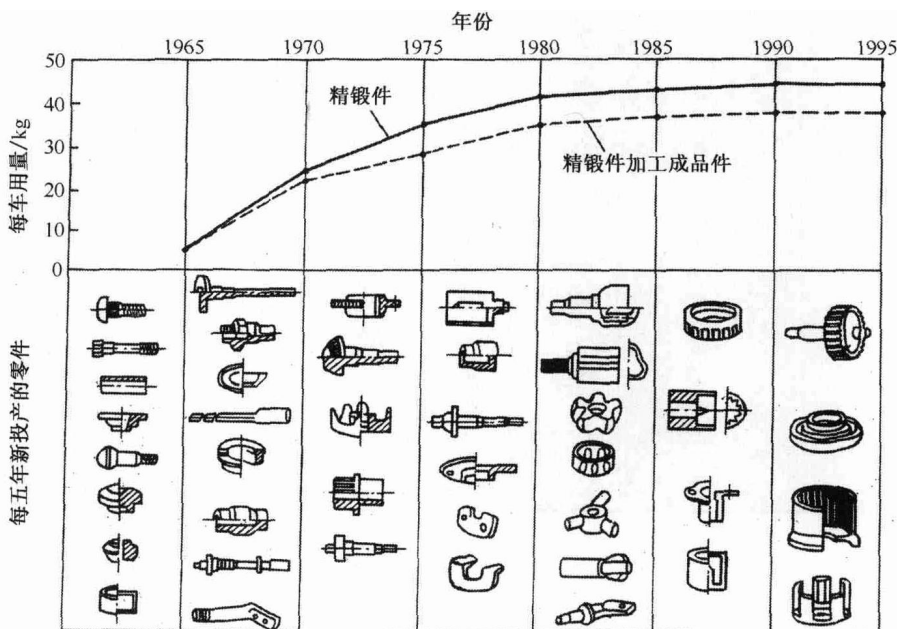


图 1-1 1960~1995 年间日本轿车的冷锻件重量变化<sup>[42, 47, 63]</sup>

现代冷锻技术是从 18 世纪末开始的，但直至 20 世纪 30 年代德国人发明了在工作表面形成磷酸盐薄膜的表面润滑方法后，冷锻技术才逐步走向实用<sup>[29, 30]</sup>。1967 年，国际冷锻组织(International Cold Forging Group, ICFG)成立并于 1968 年在英国伦敦召开第一次全体会议。ICFG 每年举行一次全体会议，出版了大量行业技术文件或标准，对冷锻技术的国际学术交流和生产起到了重要的促进作用。目前，ICFG 主要在以下领域开展工作<sup>[31~40]</sup>：

- (1) **模具寿命与模具质量(Tool life and tool quality)**: 主要研究与模具寿命和模具质量相关的模具材料、表面处理、摩擦、疲劳等。
- (2) **成形过程数值模拟(Process simulation)**: 主要研究数值模拟软件的应用、输入数据的可靠性、商用软件的进展、现有模型的局限性等。
- (3) **冷锻件性能(Properties of cold forged products)**: 主要研究冷锻件的残余应力、加工硬化、尺寸精度、变形、金相组织、机加工性能、轻量化设计等。
- (4) **增量体积成形(Incremental bulk forming)**: 主要研究与增量体积成形相关的数值建模、材料测试、物理模拟、模具磨损、创新应用等。

我国的冷锻技术起步于20世纪50年代末,并于1962年在上海交通大学成功开发了第一个黑色金属冷挤压零件(梭心套)。1965-1975年是我国冷锻技术工业应用的第一个高潮,主要用于自行车、缝纫机、卡车、电子工业,开始引进国外的专用机械冷锻压力机,并研制了1600~3000 kN机械冷锻压力机、6300 kN液压挤压机、2500 kN双向自动挤压机等。同时,在理论创新方面,提出了黑色金属冷挤压许用变形程度理论,为我国冷锻工艺的发展奠定了基础<sup>[1~13]</sup>。图1-2至图1-4所示为20世纪60年代至20世纪70年代,国内完成的部分黑色金属(材料包括:纯铁、碳素钢、低合金钢、不锈钢、高速钢、耐热钢)、紫铜及黄铜冷挤压件、铝及铝合金冷挤压件。

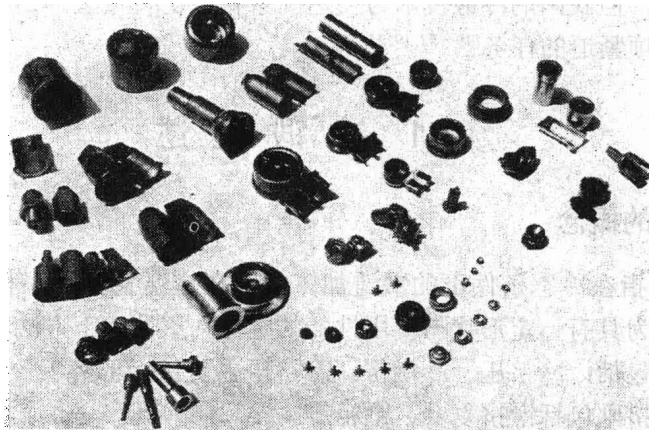


图 1-2 黑色金属冷挤压件<sup>[5]</sup>

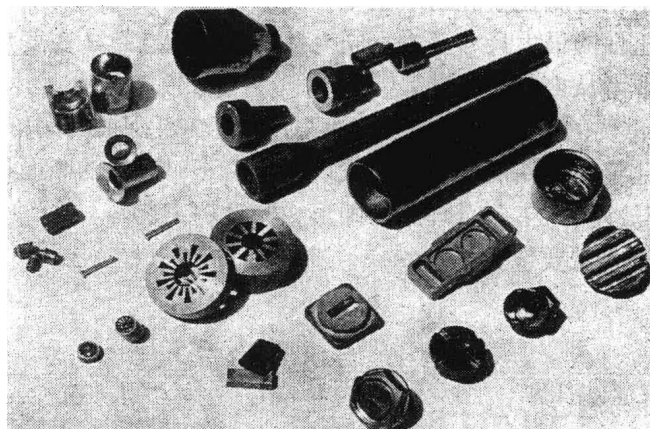


图 1-3 紫铜及黄铜冷挤压件<sup>[5]</sup>

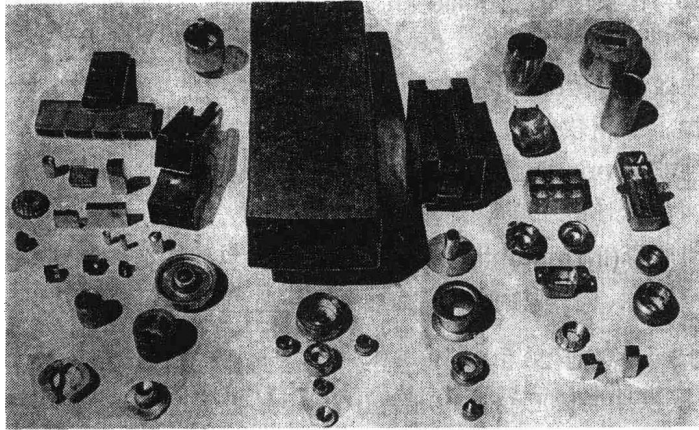


图 1-4 铝及铝合金冷挤压件<sup>[5]</sup>

由于有些产品数量未达到经济批量，20 世纪 70 年代后期我国冷锻技术未能持续发展而转入低谷。90 年代以来，随着我国轿车、摩托车产量的快速增长，冷锻市场得以扩大，多工位成形、温（热）冷复合成形、闭塞锻造、背压锻造、分流锻造以及冷温锻造成形数值模拟等技术得到应用，但我国的冷锻技术与发达国家相比仍有很大的差距，加强冷锻技术的开发与推广应用是一项紧迫的任务<sup>[49~52, 19, 21, 25]</sup>。

## 1.1 冷锻概述

### 1.1.1 冷锻的概念

所谓冷锻，是指在冷态条件下的锻造加工，即在室温条件下，利用安装在设备上的模具将金属坯料成形为具有一定形状与使用性能的零件的塑性加工方法，也称冷体积成形。冷锻成型的主要方式包括：冷挤压、冷镦挤。冷挤压主要包括正挤压、反挤压、复合挤压、径向挤压等，而冷镦挤则包括镦挤复合、镦粗等。

冷挤压是根据金属塑性成形原理，利用安装在压力机上的模具，在相当大的单位挤压力作用以及一定速度下，金属在模腔内产生塑性变形，使毛坯变成所需形状、尺寸及具有一定性能的零件。冷挤压件的最大尺寸基本上同毛坯的外径相一致，在变形过程中，仅仅是强迫金属从外向内流动或者从内向外流动。

冷镦工艺是另一重要的冷锻工艺，但冷镦与冷挤压在毛坯断面积的变化上有所不同。冷镦时工件的断面积比毛坯的断面积有所增大，而冷挤压时工件的断面积比毛坯的断面积有所减小；将冷镦工艺与冷挤压工艺合理结合即形成冷镦挤工艺。

冷锻成形的关键技术主要包括：

- (1) 成形工艺
- (2) 冷锻材料
- (3) 冷锻模具设计与制造
- (4) 冷锻设备

- (5) 冷锻前处理
- (6) 冷锻生产管理

### 1.1.2 冷挤压的特点<sup>[1~3]</sup>

冷挤压是一种先进的金属塑性成形工艺，无论在技术上和经济上都有许多优点。

#### 1. 节约原材料

冷挤压在不破坏金属的前提下使金属体积做出塑性转移，达到少或无切屑而使金属成形，这样就避免了在切削加工时形成的大量金属废屑，大大节约了金属原材料。图 1-5 是通信器材中的纯铁底座，采用冷挤压后材料消耗仅为原来切削加工的 1/10；图 1-6 是航空仪表中的铝质零件，原采用  $\phi 22 \text{ mm} \times 21.1 \text{ mm}$  的实心坯料切削加工，采用冷挤压后只需用  $\phi 19.5 \text{ mm} \times 6 \text{ mm}$  的材料，材料消耗为原来的 1/10；图 1-7 是汽车发动机活塞销冷挤压件（材料：20Cr），若采用切削加工，单件材料消耗 0.282 kg，采用冷挤压后下降为 0.149 kg。

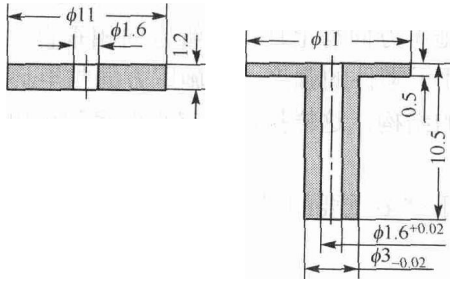


图 1-5 纯铁底座

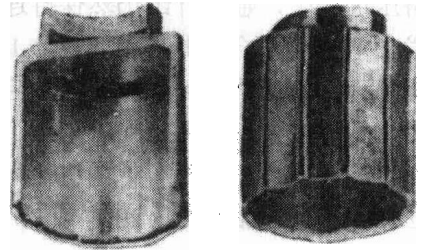


图 1-6 纯铝挤压件

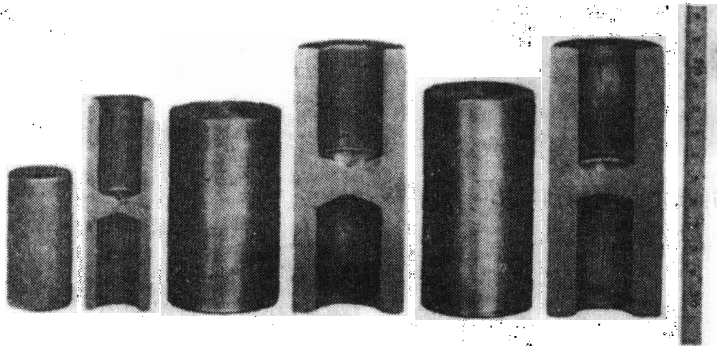


图 1-7 活塞销冷挤压件（实心件为毛坯）

#### 2. 提高生产率

冷挤压在压力机上进行，操作容易，生产率很高。图 1-5 的纯铁性脆，切削性能差，机加工较为困难，经采用冷挤压后，生产率提高了 30 倍。

#### 3. 可成形形状复杂的零件

在压力机的往复直线运动下完成复杂的加工工序，并可制成形状复杂的零件。图 1-8 中

的铝质可变电容器、图 1-9 中的铝质工件，形状较为复杂，如不采用冷挤压方法制造会十分困难，或需要增加许多工序，而采用冷挤压加工却十分容易。

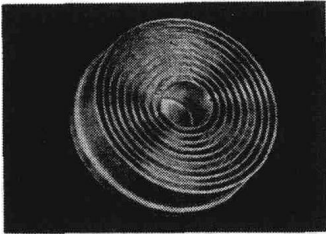


图 1-8 铝质可变电容器

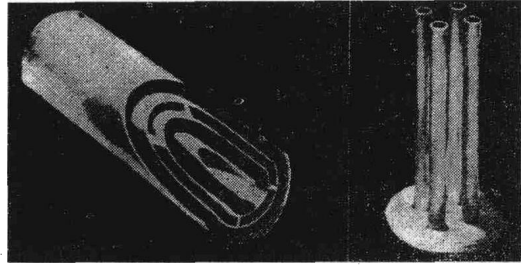


图 1-9 铝挤压件

#### 4. 冷挤压件的强度大、刚性高而重量轻

由于冷挤压利用了金属材料冷变形时的冷作硬化特性，制件强度大为提高，可用低强度钢材代替高强度钢材。此外，切削加工使零件的金属纤维流线被切断，对零件的强度不利，而冷挤压过程中，金属纤维仍然保持连续流畅。若施压方向与毛坯的纤维方向相垂直，则纤维只发生弯曲而不会切断（参见图 1-10），从而保证了零件的强度。若施压方向与毛坯的纤维方向平行，则纤维受到强烈的锻压后，形成密实的结构，这样挤成的空心件底部可以达到十分紧密的程度（参见图 1-11）。

由于冷挤压可以提高零件的机械性能，被应用于许多重要的受力零件。图 1-12 是用冷挤压方法加工汽车轮胎螺母（20 钢或 35 钢）的过程。

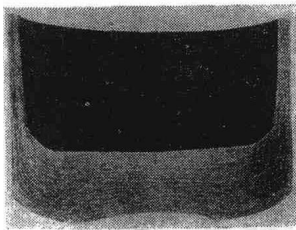


图 1-10 施压方向与纤维方向垂直时冷挤压件的纤维状态

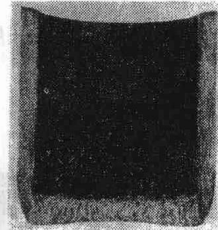


图 1-11 锻压杯形件的纤维状态

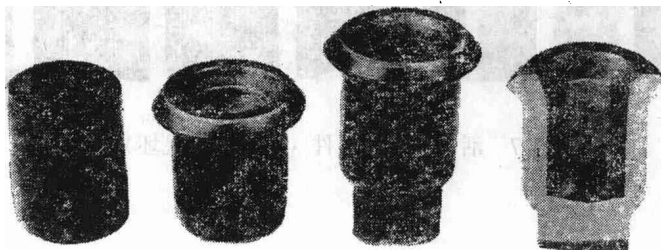


图 1-12 汽车轮胎螺母的冷挤压

#### 5. 制件可获得理想的表面粗糙度及尺寸精度

冷挤压方法成形的零件具有较为理想的表面粗糙度，一般可达 Ra 0.2~1.6，如果工艺处理合适，特别是有色金属冷挤压采用理想润滑时，可以得到超过精磨而仅次于抛光的表面粗糙度。

由于上述优点，冷挤压工艺已广泛应用于软质金属、低碳钢、低合金钢零件的生产。但上述优点往往不能简单的方法发挥出来，因为冷挤压成形（尤其是合金钢的冷挤压）有一些特殊的要求。

#### (1) 冷挤压设备吨位要求大

冷挤压的变形抗力大，单位挤压力可达到毛坯材料强度极限的4~6倍甚至更高。

#### (2) 模具材料要求高、模具制造复杂

由于单位挤压力常接近甚至超过现有模具材料的抗压强度极限，如冷挤压时的单位挤压力高达2500~3000 MPa，压印或精压时有的高达3500 MPa，所以对模具材料的要求很高，通常需要使用2~3层的预应力组合凹模。

#### (3) 加工的原材料要求高

冷锻时，材料在冷态下发生很大的塑性变形。坯料的高度可能被镦至原来的几分之一；坯料的截面积可能被挤至原来的几分之一至几十分之一，为了避免加工过程中的多次退火，应选用组织致密和杂质少（特别是易导致钢冷脆性的磷的含量低）的材料。冷锻后要进行切削加工的零件，应选用易切削材料。冷锻后要进行淬火的零件，则应用选淬透性好的材料。材料的这些性质和它的冷锻工艺性往往正好相反，因而需要研制适合冷锻的新材料，以满足两方面的要求。

#### (4) 选用的毛坯往往要进行软化退火和表面磷皂化等润滑处理

润滑对冷挤压而言非常重要。目前仍常用的磷皂化方法是有效的，但是工序多、周期长。在多工位连续镦锻工艺中，坯料在压力机上剪切后直接进行冷锻加工，无法用磷皂化来处理剪切面，这就需要采用新的润滑方法。专门研制的高分子涂剂及专用配方的润滑液可以满足要求。

### 1.1.3 冷锻的发展

2006年在日本奈良举办的“第四届国际精密锻造研讨会”上，研讨了未来的精密锻造技术及其挑战，表1-1给出了会议总结的精密锻造技术的发展趋势。

表 1-1 精密锻造技术未来的挑战<sup>[48]</sup>

关键字	主要内容
模具	模具材料、模具表面涂层、模具寿命、模具用功能梯度材料、预应力系统、多点成形模具等
质量	质量和生产率、尺寸精度、速度和精度、公差、一致性等
锻造方法	温热精锻、精密微成形、螺旋齿轮锻造、复合成形
工艺过程	工艺过程控制、工艺参数稳定性、产品需求快速变更、锻造与机加工复合工艺、智能化、降低成形力等
数值模拟	成形模拟的稳健性、CAD/CAM/CAE集成、基于有限元的优化等
锻造材料	特殊材料锻造、脆性材料锻造、镁合金锻造、成形性能、断裂预测
摩擦与润滑	环境友好的润滑剂、锻件磷化层的清除、改进的摩擦模型
锻压设备	精密位移控制、伺服压力机、摆动碾压机成形
教育	教育和培训、知识转移
环境	环境技术、能源与环境
市场	产品/市场、产品多样性



可以看出：模具、产品质量、成形工艺、数值模拟、成形材料、摩擦与润滑、成形设备、环境友好性等始终是精密锻造领域永恒的话题，而时代的发展、技术的进步，赋予这些话题不同的内涵<sup>[25]</sup>。

### 1. 新工艺、新技术的应用

持续不断的工艺创新推动了冷锻技术的发展，20世纪80年代以来，分流锻造、闭塞锻造、复合成形等新技术不断得到应用。

#### (1) 分流锻造<sup>[47]</sup>

分流锻造理论已成功应用于正齿轮和螺旋齿轮的冷锻成形。分流锻造的主要原理是在毛坯或模具的成形部分建立材料的分流腔或分流通道的。锻造过程中，材料在充满型腔的同时，部分材料流向分流腔或分流通道的。分流锻造技术的应用，使较高精度齿轮的少、无切削加工达到产业化规模。对于长径比为5的挤压件（如活塞销），采用轴向余料块的方法通过轴向分流可以实现冷挤压一次成形，而且凸模的稳定性很好；对于扁平类的直齿轮成形，采用径向余料块也可以实现冷挤压成形。

#### (2) 闭塞锻造<sup>[28]</sup>

闭塞锻造是在封闭凹模内通过一个或两个凸模单向或对向挤压金属一次成形，获得无飞边的近净形精锻件。一些轿车精密零件（如行星和半轴齿轮、星形套、十字轴等）如采用切削加工方法，不仅材料利用率低（平均不到40%），而且耗费工时多、生产成本极高，采用闭塞锻造技术，省去大部分切削加工，成本大幅度降低。

#### (3) 流动控制成形<sup>[105]</sup>

流动控制成形工艺（Flow Control Forming, FCF）的实质是闭式模锻成形，即金属在外力作用下在封闭的模膛内流动成形。FCF技术的特点是：①可精确控制材料的非均匀塑性流动，提高其成形性能，实现复杂结构件的精密成形；②可有效避免折叠、充不满等缺陷的产生，使制件金属流线连续致密，提高产品机械性能；③可使制件表面更加光洁，尺寸精度更高，其公差能达到IT8~9级。该工艺的关键点是：①控制金属的流动方向和最后充满模膛的位置，以获得优质锻件；②控制模锻成形力的大小，使其不能过分增大而影响模具寿命，甚至影响设备的安全运行。要达到这两个目的，其关键技术是分流降压腔或工艺补偿空间的设计。轿车安全气囊压盖和壳体是采用FCF技术成形的典型零件。

#### (4) 板料精冲-挤压复合体积成形<sup>[53]</sup>

对板料进行体积成形已成为精密塑性成形的重要趋势。瑞士法因图尔(FEINTOOL)公司将厚板精密冲裁与挤压、平面压扁等体积成形工艺相结合，形成了厚板精冲复合体积成形技术(Fineblanking Forming System, FFS)。

现代精冲技术是典型的板料体积成形技术，已广泛应用于汽车制造、通用机械等各工业部门。据统计，一辆轿车中至少有100个零件需采用精冲方法加工，如座椅调节机构零件、汽车安全带零件、冷却系统法兰盘、ABS脉冲环、变速箱同步器齿环、车窗玻璃升降器、汽车门锁、手动变速器零件、自动变速箱传动部件、汽车空调阀板、制动刹车零件等，如图1-13所示。这些零件往往采用FFS技术成形，通过将板料精密冲裁与体积成形工艺相复