

锻 压 手 册

第 1 卷

锻 造

中国机械工程学会锻压学会 编

机 械 工 业 出 版 社

(京)新登字054号

为了提高我国机械电子行业的工艺水平,推动企业技术进步,满足科研、生产发展的需要,中国机械工程学会锻压学会组织编写了这部综合性工具书。本手册以国内生产实践经验和科研成果为主,同时吸收一些国外的先进经验和技能编写而成,其内容具有实用性、科学性、先进性和全面性。本手册共分3卷:第1卷锻造、第2卷冲压、第3卷锻压车间设备。

本卷共分八篇,其内容包括锻造前的准备(锻造用原材料、加热、力学分析、摩擦与润滑)、自由锻、锤上模锻、压力机上模锻、特种锻造、回转变造、锻后精整与热处理、锻件质量控制、技术经济分析、安全技术与环境保护等内容。本卷按生产工艺流程编排,叙述连贯,使用方便。

本手册可供锻造行业的广大工程技术人员使用,也可供大专院校师生参考。

锻 压 手 册

第 1 卷

锻 造

中国机械工程学会锻压学会 编

*

责任编辑:刘彩英 责任校对:韩 晶

封面设计:姚 毅 版式设计:冉晓华

*

机械工业出版社出版(北京阜成门外百万庄南街一号)

邮政编码:100037

(北京市书刊出版业营业许可证出字第117号)

通县向阳印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本787×1092 1/16·印张98 1/2·插页4·字数2443千字

1993年9月北京第1版·1993年9月北京第1次印刷

印数 0 001-5 800· 定价:88.00元

*

ISBN7-111-03470-8/TG·760

发展轻压技术
振兴机电工业

何光远



一九九一年
三月廿日

推广锻压新技术，提高
质量，节能节材，为改
变行业面貌而努力。

陆燕荪



一九九二年三月

《锻压手册》编委会

荣誉主任委员 何光远

主任委员 海锦涛

副主任委员 周大隽 王焱山 闵学能
王仲仁 李硕本 俞新陆

委员 (按姓氏笔划顺序排列)

王祖唐 付沛福 刘才正 刘庚申

刘彩英 朱红海 孙育志 阮雪榆

陈上达 陈适先 陈锡禄 李成功

李社钊 李郁华 李铁生 吴听松

杨志敏 辛宗仁 何绍元 何富源

张承鉴 肖景荣 林秀安 俞云焕

胡世光 胡正寰 皇甫骅 姜奎华

夏天赳 常希如 黄树槐 程瑞全

霍文灿 戴可德

本卷主编、主审

主 编 王仲仁

副主编 皇甫骅 辛宗仁

主 审 肖景荣

副主审 李成功 吴听松

学术秘书 张凯峰

本 卷 篇 负 责 人

第一篇 王仲仁

第二篇 吕 炎

第三篇 白学周 陈炳森

第四篇 吴听松

第五篇 皇甫骅

第六篇 胡正寰

第七篇 陈诗荪

第八篇 辛宗仁

序

“锻压”是人类发明的最古老的生产技术之一。人类发现和使用金属几千年的历史，都伴随锻压技术的发展。从最初锻造农具和制造盔甲，到现在生活中随处可见的千千万万的锻压产品，都证明了这一技术对人类的宝贵价值。目前，人类生产的金属材料的大部分，最终都是经过锻压方法加工成成品零件的。

越来越多的生产实践表明，锻压法已遍及国民经济的各个生产领域。这不仅因为它能合理地利用金属的塑性，省时节能地获得产品的形状，而且还能改变金属的性能，通过改善金属的内部组织，提高原始金属本身的承载能力，进而收到节材的效果。近些年的发展也表明，锻压已不再只是一种加工零件毛坯的手段，用它直接成形零件的生产实例已越来越多。这一切证明锻压是一种充满活力和前途宽广的加工技术，它的水平正不断提高，它的作用也不断延伸。所以，现在的飞机、汽车、船舶、大型发电设备和化工容器以及军工领域的许多大型的重要零件和仪器，钟表中的一些小零件，都几乎是用这种方法制造出来的。

建国以来，我国的锻压技术有了飞跃的发展。从教学、科研和生产方面基本形成了一个完整的专业体系。特别是专业人材培养和锻压技术科研方面，与先进国家并没有太大的差距。但是就全行业普遍的生产水平而言，不仅与世界先进国家的差距很大，就是与国内外其它机械制造工艺相比，也是最落后的行业之一。

随着我国四化建设，特别是汽车工业的发展，客观上对锻压技术也提出了更新更高的要求。作为锻压技术工作者应当共同携手，为充分发挥成形技术的潜力，尽快掌握更多的先进技术，及时总结技术经验，丰富专业基础文件，大面积提高专业技术水平而努力。

鉴于多年来我国锻压技术工作的基础建设一直较弱，沿用苏联等外国资料的情况较多，从事锻压生产的技术人员普遍希望有一本先进、实用的技术手册来指导自己的工作。因此，中国机械工程学会锻压专业学会受机械工业出版社的委托，出面组织综合性锻压手册的编写工作，以期发挥国内锻压技术界的优势，群策群力编出一套既科学又实用、既符合我国现阶段国情，又体现一定先进性的锻压技术手册，供现场锻压工艺工程师使用。

经过短期的筹备，编写工作于1987年4季度全面铺开。我们从学校、科研单位和工厂中动员了110人的业余编写班子，他们都是各个领域中具有相当高的理论水平和丰富的实践经验的锻压技术专家，经过三年的努力，编就了这套近三百余万字的专业技术手册。

整套手册共分三卷，第一卷为锻造卷(体积成形)；第二卷为冲压卷(板料成形)；第三卷为锻压车间设备卷。按照这种分卷原则，冷挤压和超塑性成形编入第一卷；厚板热冲压、吹塑成型和旋压编入第二卷；下料设备、加热设备和车间机械化运输设备等都编入第三卷。在选材过程中，始终以实用性为主，同时注意吸收一些有用的国外资料，体现了一定程度的先进性。所以，从总体上看，这套手册的内容丰富，实用性强，是建国以来锻压专业最完整、最符合现阶段国情的一部技术手册。希望它的出版能在我国90年代的锻压生产活动中发挥作用。

由于经验、组织能力和活动资金的限制，也由于企业竞争、技术保密的障碍，在编写过

程中也遇到前所未有的困难，因此尽管尽了最大的努力，这套手册仍然存在一些欠缺和不足，诚望广大读者在使用本手册过程中提出宝贵的意见，供修订和再版时参考。

最后，衷心希望这部反映了锻压行业广大技术人员和工人几十年所创造和积累的经验，凝结了一百多位编写者几年心血的手册，能对广大锻压行业工作者有所帮助，对我国锻压行业赶上国际先进水平作出贡献。

海锦涛

前 言

锻造是一种既古老而又正处在蓬勃发展之中的一种金属加工技术。从规模上看，它从昔日的红炉手工锻造已发展到在万吨级的液压机上锻造几百吨的钢锭；从工艺上看，它冲破了旧有单一的概念，又开发出了冷锻、温锻、近熔点锻、等温锻和超塑性锻造等；从设备上，它已由单方向的直线动作扩展到了多向、回转或其它更复杂的动作；从锻件原材料看，它由一般钢扩展到了许多特种用途钢、难变形钢和高温有色合金等，也由锭料和棒料扩展到了液料和粉料。所有这些说明，客观上要求有这样一本锻造手册，它内容广泛、既符合我国国情，又能反映出世界先进的发展动向；既能提供大量可靠的技术数据、指导生产，又能给使用手册的技术人员以新的思想启迪，更好地做好技术工作。

基于以上想法，我们在全中国锻压学会《锻压手册》编委会的具体组织下，编就了这本新的手册。编写时，考虑到传统的自由锻及模锻工艺仍然是实际的基本内容，它占了本手册的主要篇幅。同时，也用了较多的篇章反映了有关方面的新进展和我国的特征内容，注意提供生产中的应用实例。期望成为广大锻造工艺人员的一本有用的工具书。

在编写这本手册过程中，得到各位编、审人员的协同配合和全力支持，部分院校、研究所和工厂也都提供了许多技术数据和资料，为本手册的编辑出版作出了宝贵的贡献。谨向这些单位和个人，致以深深的谢意。

值得特别一提的是本手册副主编 **辛宗仁** 高级工程师，他满腔热情，带病参加了整卷的编审工作，亲自执笔编写了第八篇的前两章，直至病危住院时才写完他的这份心得，这种为后人奉献的精神，永远值得我们学习。

限于编者水平，加之统稿时间较紧，疏忽与不当之处，恳请读者指正。

主编 王仲仁

目 录

概 论

第一篇 锻造前的准备

概述	7
第一章 锻造用原材料及模具材料	8
第一节 锻造用原材料	8
第二节 模具材料及其合理选用	99
参考文献	172
第二章 算料和下料	173
第一节 算料	173
第二节 下料	179
参考文献	204
第三章 金属加热及温度测量	205
第一节 金属加热目的及加热方法	205
第二节 金属加热时物理性质和力学性能的变化	207
第三节 金属加热时产生的缺陷及防止方法	210
第四节 金属加热常用的几个基本概念	212
第五节 金属锻造温度范围的确定	216
第六节 金属加热时间的计算	220
第七节 金属加热温度的测量	229
参考文献	241

第四章 金属塑性成形力学分析与过程模拟	242
第一节 应力与应变	242
第二节 塑性变形力学分析的基本前提	246
第三节 变形力解析的主要方法	250
第四节 塑性成形过程的物理模拟与数值模拟	271
参考文献	277
第五章 金属塑性变形时的流动应力	278
第一节 流动应力的测定方法	278
第二节 影响流动应力的因素	280
第三节 常用金属材料的流动应力	284
参考文献	308
第六章 金属塑性成形中的摩擦与润滑	309
第一节 塑性成形中的摩擦及其特点	309
第二节 塑性成形中的摩擦系数测定	313
第三节 塑性成形时润滑的分类	318
第四节 塑性成形润滑剂种类与作用	320
第五节 典型成形工序用的润滑剂	327
参考文献	336

第二篇 自由锻造

概述	337
第一章 锤上自由锻造	337
第一节 自由锻造的基本工序	337
第二节 工艺过程的制定	353
第三节 锤上自由锻工艺举例	379
参考文献	385
第二章 液压机上自由锻	386
第一节 大锻件的生产特点	386
第二节 锻造用钢锭	387
第三节 钢锭与钢坯加热	396
第四节 大锻件变形工艺特点	401
第五节 液压机自由锻工艺装备	414
第六节 大锻件锻后冷却和热处理	430

第七节 典型大锻件工艺	440
参考文献	457
第三章 合金钢和有色合金锻造特点	458
第一节 莱氏体高合金工具钢的锻造	458
第二节 球墨铸铁及白口铸铁锻造	472
第三节 不锈钢锻造	480
第四节 高温合金锻造	485
第五节 铝合金锻造	495
第六节 镁合金锻造	500
第七节 铜合金锻造	505
第八节 钛合金锻造	510
参考文献	520

第三篇 锤 上 模 锻

概述	521
第一章 模锻件图的制订	523
第一节 模锻件图制订的主要内容	523
第二节 胎模锻件锻件图制订特点	541
参考文献	545
第二章 自由锻锤上胎模锻和型砧锻 ...	546
第一节 胎模锻特点及应用	546
第二节 胎模锻件及胎模分类	546
第三节 胎模锻工艺设计	550
第四节 胎模设计	566
第五节 胎模锻工艺举例	582
第六节 自由锻锤上型砧锻	588
参考文献	597
第三章 模锻锤上模锻	598
第一节 锻锤吨位的确定	598
第二节 模锻工步选择及坯料计算	601
第三节 终锻及预锻模膛	624

第四节 制坯模膛设计	636
第五节 切断模膛	653
第六节 锻模的结构	655
第七节 镶块锻模成组模锻工艺特点	674
第八节 典型件模锻示例	683
参考文献	705

第四章 高速锤及对冲锤上模锻

第一节 高速锤及对冲锤的运动特点	706
第二节 高速锤上模锻	707
第三节 对冲锤上模锻	711
参考文献	716

第五章 锻模计算机辅助设计(CAD) ...

第一节 锻模CAD/CAM 的基本构成	717
第二节 工件图形输入	721
第三节 模锻工艺CAD	728
第四节 锻模结构 CAD	733
参考文献	736

第四篇 各种压力机上模锻

概述	737
第一章 螺旋压力机上模锻及精密模锻...	738
第一节 螺旋压力机上模锻的特点	738
第二节 各类锻件的工艺及模具特点	738
第三节 锻模的设计特点	752
第四节 设备公称压力的选择	758
第五节 精密模锻工艺	759
第二章 热模锻压力机上模锻	776
第一节 热模锻压力机上模锻特点与应用 ...	776
第二节 锻件分类与工艺分析	777
第三节 热模锻压力机上模锻工步设计与 坯料选择	789
第四节 热模锻压力机上模锻力计算	802
第五节 热模锻压力机上模锻的模架	806

第六节 热模锻压力机上模锻的锻模结构与 模膛设计	817
第七节 热模锻压力机上模锻工艺实例	824
第八节 热模锻压力机上模锻的锻模实例 ...	834
第九节 热模锻压力机上多向模锻	843

第三章 平锻机上模锻

第一节 平锻机模锻特点及其应用	850
第二节 锻粗(聚集)规则	861
第三节 平锻工步设计	866
第四节 平锻模膛和凸模、凹模镶块	877
第五节 平锻模结构	894
第六节 典型锻件的工艺及其模具设计	901
第七节 平锻机热挤压工艺及模具设计	906
第八节 多工位自动热锻	913

第五篇 特 种 成 形

概述	917
第一章 冷 锻	919
第一节 冷锻特点及应用	919
第二节 冷锻原材料与制坯	931

第三节 冷锻工艺	937
第四节 冷锻变形力计算	947
第五节 冷锻模具结构设计	961
第六节 冷挤压组合凹模的设计计算	969

第七节 冷锻件生产实例	975	第六节 等温挤压与超塑性挤压和拉拔	1039
第二章 温锻	978	第七节 等温锻造与超塑性锻造工艺实例	1041
第一节 温锻的特点	978	参考文献	1044
第二节 温锻温度的选择	979	第四章 粉末锻造	1046
第三节 温锻的准备	984	第一节 粉末锻造特点、分类及应用	1046
第四节 温锻变形力	986	第二节 预成形坯的变形与致密	1049
第五节 温锻模具	991	第三节 粉末锻造时金属粉末的选择	1054
第六节 温锻产品的质量	995	第四节 预成形坯的设计与成形	1058
第七节 温锻的应用实例	1001	第五节 预成形坯的锻造	1061
第八节 铝合金型材挤压	1011	第六节 典型件的粉末锻造工艺及力学性能	1064
参考文献	1021	第七节 粉末热等静压和粉末喷射锻造	1070
第三章 等温锻造与超塑性锻造	1022	参考文献	1073
第一节 等温锻造与超塑性锻造的特点与分类	1022	第五章 液态模锻	1074
第二节 等温锻造与超塑性锻造的材料及工艺规范	1023	第一节 液态模锻工艺特点	1074
第三节 等温锻造与超塑性锻造的变形力计算及设备选择	1033	第二节 工艺理论简介	1077
第四节 等温锻造与超塑性锻造的摩擦与润滑	1035	第三节 液态模锻用模具	1085
第五节 等温模锻与超塑性模锻	1036	第四节 液态模锻用设备	1088
		第五节 液态模锻件质量、质量控制及经济效益	1094
		第六节 液态模锻工艺的实际应用	1101
		参考文献	1103
		第六篇 回 转 成 形	
概述	1105	第五节 精密辗环工艺	1186
第一章 辗 辗	1107	第六节 辗环质量分析及控制	1188
第一节 辗辗的特点及应用	1107	参考文献	1190
第二节 辗辗工艺参数的确定	1108	第四章 摆动辗压	1191
第三节 辗辗力能参数的计算	1115	第一节 摆辗的特点及应用	1191
第四节 辗辗模具的设计	1119	第二节 摆辗工艺参数的确定	1194
第五节 辗辗工艺实例	1133	第三节 摆辗力能参数的确定	1198
参考文献	1139	第四节 摆辗模具的设计	1201
第二章 横轧与斜轧	1140	第五节 摆辗工艺实例	1208
第一节 横轧与斜轧的特点、分类及用途	1140	参考文献	1214
第二节 横轧与斜轧工艺参数的确定	1144	第五章 径向锻造	1216
第三节 横轧与斜轧力能参数的计算	1150	第一节 径向锻造的特点、分类及用途	1216
第四节 横轧与斜轧模具孔型的设计	1154	第二节 径向锻造工艺参数的确定	1217
参考文献	1169	第三节 径向锻造模具及夹具设计	1218
第三章 辗 环	1170	第四节 径向锻造工艺的编制	1222
第一节 辗环的特点及应用	1170	第五节 典型工艺实例	1226
第二节 辗环工艺参数的确定	1172	第六节 径向锻件的工艺缺陷分析	1230
第三节 辗环的力能计算	1178	参考文献	1230
第四节 辗环模具的设计	1179		

第七篇 锻件的精整、热处理及质量控制

概述	1231
第一章 切边与冲连皮	1232
第一节 切边与冲连皮方法	1232
第二节 简单切边模与冲连皮模	1234
第三节 连续模	1254
第四节 复合模	1255
参考文献	1264
第二章 精压与校正	1265
第一节 精压	1265
第二节 校正	1276
参考文献	1284
第三章 锻件的冷却和热处理	1285
第一节 锻件的冷却	1285
第二节 锻件的热处理	1286
第三节 锻件的余热处理	1328
参考文献	1335

第四章 锻件和坯料的清理	1336
第一节 滚筒清理	1337
第二节 喷丸(砂)清理	1339
第三节 抛丸清理	1341
第四节 光饰	1347
第五节 酸洗	1351
第六节 热坯料的清理	1360
第七节 局部表面缺陷的清理	1362
参考文献	1365
第五章 锻件质量检验与控制	1366
第一节 锻件缺陷分类	1366
第二节 锻件缺陷的主要特征及其产生原因	1366
第三节 锻件质量检验内容及方法	1373
第四节 锻件的质量控制	1388
参考文献	1396

第八篇 锻造技术经济分析、安全技术及环境保护

概述	1397
第一章 锻造技术经济分析方法	1398
第一节 分析的可比性与评价准则	1398
第二节 技术经济指标	1400
第三节 技术经济分析的数量方法	1408
第四节 技术经济分析步骤	1412
第五节 成本计算	1417
第六节 投资估算	1419
第七节 概略数据表	1421
第二章 锻造用能源的技术经济分析	1426
第一节 能源分析的内容及常用数据	1426
第二节 燃料和炉型分析	1431
第三节 电加热分析	1440
第四节 动能分析	1446
第五节 节能经济分析的计算方法	1453
参考文献	1456
第三章 设备和工艺的技术经济分析	1457
第一节 设备、工艺特点与技术经济分析的关系	1457
第二节 通用设备的工艺特性	1461

第三节 锻件成本估算	1472
参考文献	1496
第四章 锻造安全技术	1497
第一节 系统安全分析方法与评价	1497
第二节 锻造车间安全生产的对策与事故分析	1503
第三节 锻造车间安全生产的一般准则	1508
第四节 加热炉安全生产技术	1511
第五节 自由锻造安全生产技术	1512
第六节 模锻安全生产技术	1515
第七节 锻造车间其它工人安全生产技术	1516
参考文献	1518
第五章 锻造环境保护	1519
第一节 锻造生产中的振动及减震技术	1519
第二节 锻造生产中的噪声及降噪技术	1532
第三节 锻造生产中的烟尘及防治技术	1542
第四节 锻造生产中有害气体来源及其防治	1553
第五节 锻造生产中有害废水的来源与治理	1554
参考文献	1558

概 论

一、锻造的实质、基本条件及制订工艺方案的基本原则

锻造是塑性加工的重要分支。它是利用材料的可塑性，借助外力的作用产生塑性变形，获得所需形状、尺寸和一定组织性能的锻件。

各国习惯上将塑性加工分为两大类。一类是生产原材料(如管、板、型、棒)为主的加工称为一次塑性加工。另一类是生产零件及其毛坯(包括锻件、冲压件等)为主的加工称为二次塑性加工。因为在大多数情况下，二次加工都是用经过一次加工所提供的原材料进行再次加工，只是大型锻件例外，它多用铸锭为原材料直接锻成锻件。

二次塑性加工根据所用原材料的不同，又可分为体积成形(*bulk forming*)及板料成形(*sheet forming*)，前者所用原材料为棒料及块料，变形对于三向应力状态，后者多用板材为原材料，变形过程习惯上多按平面应力状态来分析。

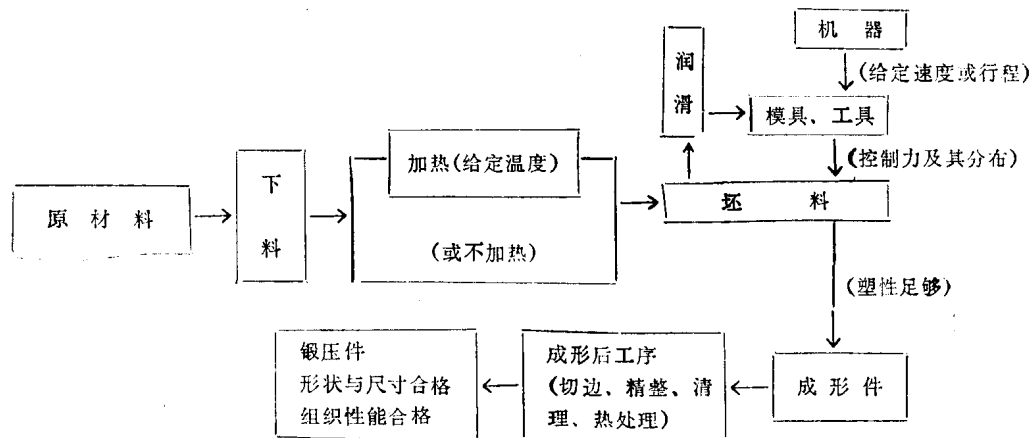


图1 塑性加工过程的基本环节

由上述分析可见，锻造属于二次塑性加工，变形方式为体积成形。

实现塑性加工的基本环节如图1。

由图1可见，任何一个锻造过程的根本目的都是为了获得符合图纸要求的外形、尺寸及内部组织性能合格的锻件。而成形的基本条件有两个，一是在变形过程中材料能承受所需的变形量而不破坏，二是力量条件，也就是设备通过模具向工件施加足够大的及特定分布的力。努力创造条件，优化工艺过程，生产合格的锻件是锻压工艺工作者的重要任务。

锻造工艺选择是灵活多样的，仅以成形工序而言，同一种模锻件可以用不同设备或不同方法来完成。例如连杆若在模锻锤上成形时，坯料在同一付模膛(见本书第三篇第三章)中完成拔长、滚压、预锻及终锻。如若用机械压力机模锻，则需预先采用滚锻制坯(见本书第四篇第二章)。若用成形辊锻方法(见本书第六篇第一章)来生产，则可在精密辊锻后再加上一道整形工序而获得合格件。

又如阶梯轴多工位冷锻(图2), 对于同一锻件可以有不同的工艺路线, 采用不同的毛坯, 相应地中间工序也不相同, 有些包含正挤压(图中F), 有些采用顶镦(图中U)。所需变形力大小也不等。模具寿命差别也较大。

当设备条件(如吨位等)已固定时, 可选择的方案也就不那么多了, 当原材料性能及规格固定后, 并不是图中所有方案都能适用。

在保证产品的外观和内部质量及生产率的前提下, 选择成形工艺方案应考虑的基本出发点为经济效益好, 具体地说:

1) 节约原材料 尽量采用近无余量成形(*Near net shape forming*), 即少无切削加工。

2) 减少能耗 不能只看某一工序的能耗, 而是要看总能耗, 初看起来冷锻因省去加热工序, 能耗下降, 但还应考虑冷锻前的软化处理及工序间的退火所消耗的能量。非调质钢及余热形变热处理都是节能工艺。

3) 降低变形力 尽量采用省力的成形方法, 这不仅可以减小设备吨位, 减少初投资, 还可以提高模具寿命。回转成形在近年来获得广泛应用的原因也在此。

4) 工艺稳定性好 一个好的工艺应表现在能实现长期连续生产, 而不是某些单项指标高(例如道次少, 每道次变形量大), 而成品率低或经常折损模具。

二、锻造的分类与特点

锻造按所用工具及模具安置情况不同可以分为以下几类, 见表1。

模锻按成形温度可以分为以下几种, 见表2。

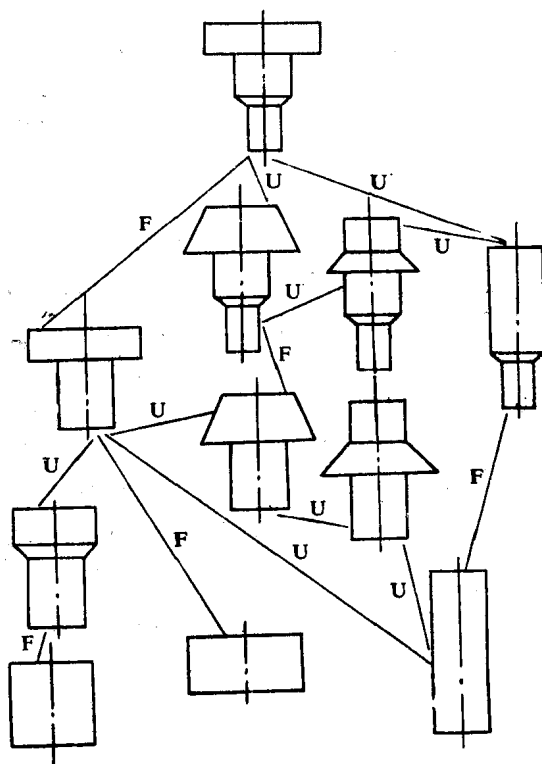


图2 阶梯轴多工位冷锻工艺

表1 按工具及模具安置情况分类

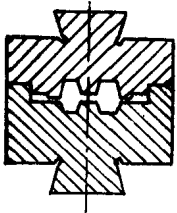
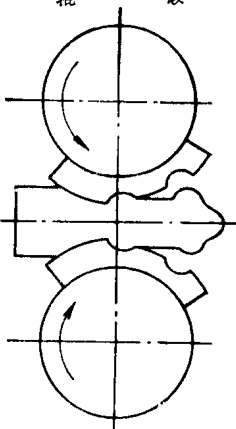
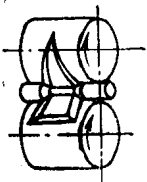
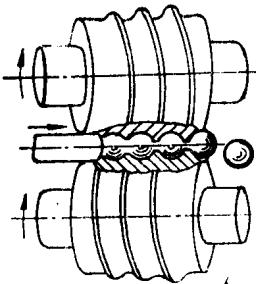
名 称	特 点
自 由 锻	靠固定的平砧或型砧成形
胎 模 锻	锻模为可移动式
模 锻	锻模为固定式

表2 模锻按温度分类

名 称	特 点
热 锻	终锻温度高于再结晶温度的锻造过程, 工件温度高于模具温度
等 温 锻	模具带加热和保温装置, 成形时模具与坯料等温
冷 锻	指室温下进行的或低于工件再结晶温度的锻造
温 锻	介于热锻及冷锻之间的加热锻造

模锻按工具及工件的相对运动方式分类见表3。

表3 模锻按运动分类

名 称	特 点
普通模锻 	模具相对于坯料作直线往复运动
辊 锻  辊 锻	毛坯作直线运动，两辊锻模作旋转运动，转向相反，其旋转轴线与毛坯运动方向垂直
横 轧 	轧辊轴线相互平行，旋转方向相同，轧件旋转轴线与轧辊旋转轴线平行，但旋转方向相反
斜 轧 	轧辊轴线交叉成一个小角度，其旋转方向相同。轧件在两辊交叉中心线上作与轧辊旋转方向相反的运动