

鍛壓手冊

鍛造

第2版

1

中國機械工程學會鍛壓學會 編



機械工業出版社
China Machine Press

锻压手册

锻造

第2版

中国机械工程学会锻压学会 编

1



机械工业出版社
China Machine Press

● ISBN 7-111-03470-8/TG·760

封面设计 / 电脑制作 : 姚毅



UANTYA SHOUCE

锻压手册

第1卷 锻造

第2卷 冲压

第3卷 锻压车间设备

ISBN 7-111-03470-8



9 787111 034704

0 1>



定价: 75.00 元

锻 压 手 册

第 1 卷

锻 造

第 2 版

中国机械工程学会锻压学会 编



机 械 工 业 出 版 社

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于1993年组织编写并出版了这部综合性工具书。锻压技术的迅速发展要求我们对手册进行修订,增补新内容,删去技术陈旧的部分,压缩用量少且各行业已有相应标准的内容。修订后的本手册内容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新的先进经验和技能,使其更具有实用性、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

本卷共分九篇,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、回转锻造、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、数值模拟与CAD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。

图书在版编目(CIP)数据

锻压手册.第1卷,锻造/中国机械工程学会锻压学会编.——2版.——北京:机械工业出版社,2002.3
ISBN 7-111-03470-8

I. 锻… II. 中… III. ①锻压-技术手册②锻造技术手册 N. TG31-62

中国版本图书馆CIP数据核字(2001)第079956号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)
责任编辑:刘彩英 版式设计:冉晓华 责任校对:魏俊云
封面设计:姚毅 责任印制:郭景龙
北京京丰印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行
2002年1月第2版·第1次印刷
1000mm×1400mm B5·28.75印张·4插页·1741千字
8 301—11 300册
定价:75.00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、68326677-2527

本卷第 2 版编写人员

主 编	王仲仁			
副 主 编	皇甫骅	辛宗仁	张凯锋	
篇负责人	第一篇	王仲仁		
	第二篇	吕 炎		
	第三篇	白学周	陈炳森	王忠金
	第四篇	吴听松		
	第五篇	皇甫骅	康达昌	
	第六篇	胡正寰	苑世剑	
	第七篇	陈诗荪	刘润广	
	第八篇	辛宗仁	陈维民	
	第九篇	张凯锋		

编写人员 (按姓氏笔画排列)

王仲仁	王尔德	王典钧	王忠金	王焱山
白学周	吕 炎	朱宝泉	孙爱学	刘助柏
刘润广	刘祖岩	刘 钢	许 沂	杜之明
杨尹任	李国隆	宋宝韞	辛宗仁	吴公明
吴听松	吴诗惇	苏长青	张承鉴	张凯锋
张柏年	张 猛	张程勇	张 巍	汪 涛
陈宗霖	陈炳森	陈维民	陈诗荪	赵一平
赵云路	赵仲治	罗守靖	罗晴岚	周大隽
周纪华	周德成	苑世剑	郎立辉	单德彬
林淑维	胡正寰	饶 潞	皇甫骅	贾占全
夏宗纲	崔世强	黄 春	郭会光	郭殿俭
海锦涛	康达昌	舒其馥	蔡喜明	裴兴华
管克智	薛克敏	戴万福		

第 1 版《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 周大隼 王焱山 闵学熊

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

第2版 序

《锻压手册》第2版于21世纪初出版,这是我国锻压行业的一件大事。自手册第1版问世以来,已近十载。它受到了广大读者的欢迎,在生产、科研和教学中起到了十分显著的指导作用,为推动我国锻压事业的发展和提高锻压行业的整体技术水平发挥了积极的作用。

近10年来,大家对发展先进制造技术取得了共识,塑性加工技术也取得了前所未有的进展。塑性成形技术的发展涉及材料、能源、模具和设备等各个方面。成形技术、方法的创新及其过程的科学分析与控制是发展的核心。十多年来,精确成形技术在国内外迅速发展,许多优质、高效、节能省力的塑性成形技术相继出现,并在生产中获得广泛应用,取得了十分可观的经济效益;同时,也积累了大量宝贵的经验。手册第2版的编写顺应了进一步完善、充实内容和体现先进性的迫切要求。

塑性成形技术发展的现代特征是与高新技术相结合。随着汽车、航空航天、电子等工业的发展,信息技术、计算机技术、数字化技术、现代测控技术等向塑性加工领域的渗透与交叉融合,全面促进了传统成形技术的改造及先进塑性成形技术的形成和发展,使塑性加工在理论、方法与体系上开始发生很大变化。

先进塑性成形技术的主要标志是科学化、数字化、可控化。科学化主要体现在成形过程,产品质量以及成本效益的预测与优化,需要以对材料变形规律的认识和把握为基础,以计算机虚拟仿真技术为工具。20世纪八、九十年代数字模拟技术的发展是塑性加工技术从经验走向科学化的重大转折。同时,人工智能和智能控制技术也将在塑性加工领域协同发展。

先进塑性成形技术将更加注重产品制造全过程,既重“形”又重“质”,从产品初步设计起就对产品的可成形性、可加工性及期望性能的保证度作出快速分析与评估,从而尽快实现并行设计模式。

先进塑性成形技术将具有更大的柔性,以适应未来多样化及产品个性化的发展趋势,增强企业对市场变化的快速响应能力。同时,也将更加重视复合化工艺技术,为发展净近成形和零件-结构的一体化成形提供新的技术途径。

先进塑性成形技术将更加重视资源的综合利用和对环境的影响,“绿色塑性加工”将获得系统的研究和发展。

总之,中国塑性加工技术的发展,需要加快从经验向科学转化的进程,做到更精、更省、更净。中国的锻压技术和水平与世界先进国家相比,总体上仍有较大的差距。随着我国加入WTO,锻压技术和工业既充满发展的机遇,又面临以高新技术改造传统产业技术的严峻挑战。

跨世纪的《锻压手册》第2版的编写,是一项十分艰巨的工作。它再一次集中了本行业内高水平专家的智慧和经验,是锻压界同行共同努力的结果。大家在认真总结10年来积累的丰富经验的基础上,继续坚持可靠性、实用性和综合性相结合的原则,注意到

先进塑性成形技术的发展,适当补充了一部分最新研究成果和具有前瞻性的新内容,以期引起读者的关注。由于新技术发展迅速,深度广度不断增加,在新内容的增补取舍上带有相当程度的探索性,错误与不足之处在所难免,恳切希望广大读者给予指正,为今后的修订提供依据,以求进一步完善提高。相信手册第2版将成为广大从事塑性加工的科技人员的好帮手。

对于手册第2版编写过程中给予支持的部门、单位和付出辛勤劳动的编写、评审人员,以及所有热心提供资料的人员表示衷心的感谢。

周贤宾 胡正寰

第1版 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。特别是专业人才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

第 2 版前言

《锻压手册》锻造分册第 1 版问世后以其内容丰富和实用性强而受到广大读者的欢迎。毫不夸张地说,该手册是第一次集中了本行业内的高水平专家编写的篇幅最大的锻造工具书。

如今,距第 1 版手册交稿时间已有 10 年之久,锻压技术的迅速发展要求我们对手册锻造卷进行修订,增补新内容,删去技术陈旧的部分,压缩用量少且各行业已有相应标准的内容,如胎模锻、大锻件锻造、平锻机上模锻等。

随着新世纪的来临,计算机的应用越来越普及,锻模 CAD 和锻造过程仿真已进入实用化阶段,为此增加了锻模 CAD/CAM 的内容。环保与节能已经越来越受到人们的关注,在编写方面内容有所加强。结构轻量化是塑性加工发展的重要趋势之一,以管坯为原料通过内高压成形也是这次新增加的内容,归入特种成形一篇中。

考虑到第 1 版锻造分册的字数过多,修订版对原内容压缩了约 1/3,初版第一章锻造用原材料可以从相关手册查到,这次整章被删除。代之以“锻造技术发展趋势”,读者从中可以了解锻造技术发展的一些脉络。

当年手册的编写者们有不少已经退休,其中部分人已表示不参加这次修订工作,考虑到手册中仍保留初版不少内容,所以原作者一律仍作为各篇章的作者,仅对参与修订的人员作一些增补。

哈尔滨工业大学材料工程系的教师们不辞劳苦地为手册修订起了骨干作用,在教师们的指导下博士生们也协助做了不少工作,在此一并致谢。

主编 王仲仁
副主编 张凯锋
2001 年 6 月

目 录

概 论	1
-----------	---

第一篇 锻造的分类与锻造前准备

概述	3	前提	54
第一章 锻造的分类与发展		第三节 变形力解析的主要方法	58
趋势	4	第四节 塑性成形过程中的物理模拟和	
第一节 锻造的分类	4	数值模拟	69
第二节 锻造的发展趋势	5	参考文献	74
第二章 算料和下料	9	第五章 金属塑性变形时的流动	
第一节 算料	9	应力	75
第二节 下料	10	第一节 流动应力的测定方法	75
参考文献	27	第二节 影响流动应力的因素	77
第三章 金属加热及温度测量	28	第三节 常用金属材料的流动应力	80
第一节 金属加热目的及加热方法	28	参考文献	94
第二节 金属加热时物理性质和力学性		第六章 金属塑性成形中的摩擦与	
能的变化	29	润滑	95
第三节 金属锻造温度范围的确定	32	第一节 塑性成形中的摩擦及其	
第四节 金属加热时间的计算	35	特点	95
第五节 金属加热温度的测量	43	第二节 塑性成形中的摩擦系数	
参考文献	51	测定	96
第四章 金属塑性成形力学分析与		第三节 塑性成形时润滑的分类	98
过程模拟	52	第四节 典型成形工序用的润滑剂	99
第一节 应力与应变	52	参考文献	110
第二节 塑性变形力学分析的基本			

第二篇 自由锻造

概述	111	第五节 液压机自由锻工艺装备	169
第一章 锤上自由锻造	111	第六节 大锻件锻后冷却和热处理	172
第一节 自由锻造的基本工序	111	第七节 大型锻造工艺实例	182
第二节 工艺过程的制定	124	参考文献	188
第三节 锤上自由锻工艺举例	145	第三章 合金钢和有色合金锻造	
参考文献	148	特点	189
第二章 液压机上自由锻	149	第一节 莱氏体高合金工具钢的	
第一节 大锻件的生产特点	149	锻造	189
第二节 锻造用钢锭	150	第二节 不锈钢锻造	198
第三节 钢锭与钢坯加热	158	第三节 高温合金锻造	202
第四节 大锻件主要变形工序的特点	162	第四节 铝合金锻造	211

第五节 镁合金锻造	217	第七节 钛合金锻造	226
第六节 铜合金锻造	220	参考文献	234

第三篇 锤 上 模 锻

概述	235	第四节 制坯模膛设计	282
第一章 模锻件图的制订	236	第五节 切断模膛	297
参考文献	251	第六节 锻模的结构	298
第二章 模锻锤上模锻	252	第七节 镶块锻模成组模锻工艺特点	316
第一节 锻锤吨位的确定	252	第八节 典型件模锻示例	325
第二节 模锻工步选择及坯料计算	254	参考文献	347
第三节 终锻及预锻模膛	273		

第四篇 各种压力机上模锻

概述	348	第五节 热模锻压力机上模锻的模架	391
第一章 螺旋压力机上模锻	348	第六节 热模锻压力机上模锻的锻模结构与模膛设计	395
第一节 螺旋压力机上模锻的特点	348	第七节 热模锻压力机上模锻工艺实例	401
第二节 各类锻件的工艺及模具特点	349	第三章 平锻机上模锻	407
第三节 锻模的设计特点	359	第一节 平锻机模锻特点及其应用	407
第四节 设备公称压力的选择	365	第二节 墩粗(聚集)规则	412
第二章 热模锻压力机上模锻	367	第三节 平锻工步设计	416
第一节 热模锻压力机上模锻特点与应用	367	第四节 平锻模膛和凸模、凹模镶块	422
第二节 锻件分类与工艺分析	368	第五节 平锻模结构	435
第三节 热模锻压力机上模锻工步设计与坯料选择	377	第六节 典型锻件的工艺及其模具设计	435
第四节 热模锻压力机上模锻力计算	387		

第五篇 特 种 成 形

概述	438	参考文献	513
第一章 冷锻与温锻	440	第三章 等温锻造与超塑性锻造	515
第一节 冷锻	440	第一节 等温锻造与超塑性锻造的特点与分类	515
第二节 温锻	479	第二节 等温锻造与超塑性锻造的材料及工艺规范	516
参考文献	505	第三节 等温锻造与超塑性锻造的变形力计算及设备选择	518
第二章 内高压成形	406	第四节 等温锻造与超塑性锻造的摩擦与润滑	519
第一节 内高压成形的原理、特点及应用	406	第五节 等温模锻与超塑性模锻	520
第二节 失效形式和主要工艺参数的确定	508	第六节 等温锻造与超塑性锻造工艺	
第三节 模具结构和润滑	511		
第四节 内高压成形设备	512		

实例	522
参考文献	524
第四章 粉末锻造	525
第一节 粉末锻造特点、分类及 应用	525
第二节 粉末锻造时金属粉末的 选择	526
第三节 预成形坯的设计与成形	528
第四节 预成形坯的锻造	530
第五节 典型件的粉末锻造工艺及 力学性能	533

第六节 粉末热等静压和粉末喷射 锻造	537
参考文献	538
第五章 半固态加工	539
第一节 工艺特点、分类及适用 范围	539
第二节 成形用模具	544
第三节 成形用设备	546
第四节 制件质量及控制	550
第五节 应用实例	558
参考文献	560

第六篇 回转成形

概述	561
第一章 辊锻	562
第一节 辊锻的特点及应用	562
第二节 辊锻变形特征	563
第三节 辊锻过程的建立	564
第四节 辊锻力能参数的计算	566
第五节 成形辊锻模的型槽设计	567
第六节 辊锻工艺实例	571
参考文献	577
第二章 横轧与斜轧	578
第一节 横轧与斜轧的特点、分类及 用途	578
第二节 楔横轧与孔型斜轧的主要工 艺参数	582
第三节 楔横轧与螺旋孔型斜轧模具 的设计	586
参考文献	596
第三章 辗环	597
第一节 辗环的特点及应用	597

第二节 辗环工艺参数的确定	598
第三节 辗环的力能计算	600
第四节 辗环模具的设计	601
参考文献	605
第四章 摆动辗压	606
第一节 摆动辗压的特点及应用	606
第二节 摆辗主要工艺参数的确定	608
第三节 摆辗模具的设计	611
第四节 摆辗工艺实例	616
参考文献	620
第五章 径向锻造	622
第一节 径向锻造的特点、分类及 用途	622
第二节 径向锻造工艺参数的确定	623
第三节 径向锻造模具及夹具设计	624
第四节 径向锻造工艺的编制	627
第五节 典型工艺实例	629
第六节 径向锻件的工艺缺陷分析	632

第七篇 锻件的精整、热处理及质量控制

概述	633
第一章 切边与冲连皮	633
第一节 切边与冲连皮方法	633
第二节 简单切边模与冲连皮模	635
第三节 级进模	653
第四节 复合模	654
第二章 精压与校正	664
第一节 精压	664

第二节 校正	674
第三章 锻件的冷却和热处理	683
第一节 锻件的冷却	683
第二节 锻件的热处理	686
第三节 锻件的余热处理	720
第四章 锻件和坯料的清理	726
第一节 滚筒清理	726
第二节 喷丸(砂)清理	728

第三节	抛丸清理	730
第四节	光饰	735
第五节	酸洗	739
第六节	热坯料的清理	747
第七节	局部表面缺陷的清理	749

第五章	锻件质量检验与控制	752
第一节	锻件缺陷的主要特征及其产生原因	752
第二节	锻件质量检验内容及方法	759
第三节	锻件的质量控制	772

第八篇 锻造环境保护、技术经济分析及安全

概述	778
第一章 锻造环境保护	779
第一节 锻造生产的振动分析	779
第二节 冲击性锻造设备的减振与隔振技术	785
第三节 锻造生产中的噪声及降噪技术	793
第四节 锻造生产中的烟尘及防治技术	803
第五节 锻造生产中有害气体来源及其防治	812
第六节 锻造生产中有害废水的来源与治理	813
参考文献	816

第二章	锻造技术经济分析	817
第一节	技术经济指标	817
第二节	锻造厂（车间）或生产线的投 资估算	822
第三节	锻件成本分析与计算	826
第四节	锻造能耗分析与节能	841
参考文献		858
第三章	锻造安全技术	859
第一节	系统安全分析方法与评价	859
第二节	锻造车间安全生产主要对策及 一般准则	864
第三节	自由锻造安全生产技术	866
第四节	模锻安全生产技术	868
参考文献		869

第九篇 锻造过程的刚粘塑性有限元分析与锻模 CAD/CAM

概述	870
第一章 锻造过程的刚粘塑性有限元分析	871
第一节 引言	871
第二节 弹性有限元	872
第三节 刚塑性有限元法	879
第四节 有限元模拟方法在金属体积成形工艺中的应用实例	882

参考文献	890
第二章 锻模 CAD/CAM	891
第一节 锻模 CAD/CAM 概论	891
第二节 零件造型及锻件输入	895
第三节 利用成组技术建立锻模 CAD/ CAM 系统的方法	900
第四节 轴对称锻件锻模 CAD/CAM 系统	903

概 论

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、型材、棒料)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,但大型锻件多用铸锭为原材料直接锻成锻件,对于粉末锻造则以粉末为原料。

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,变形属于三向应力状态,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。

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样要求的外形、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

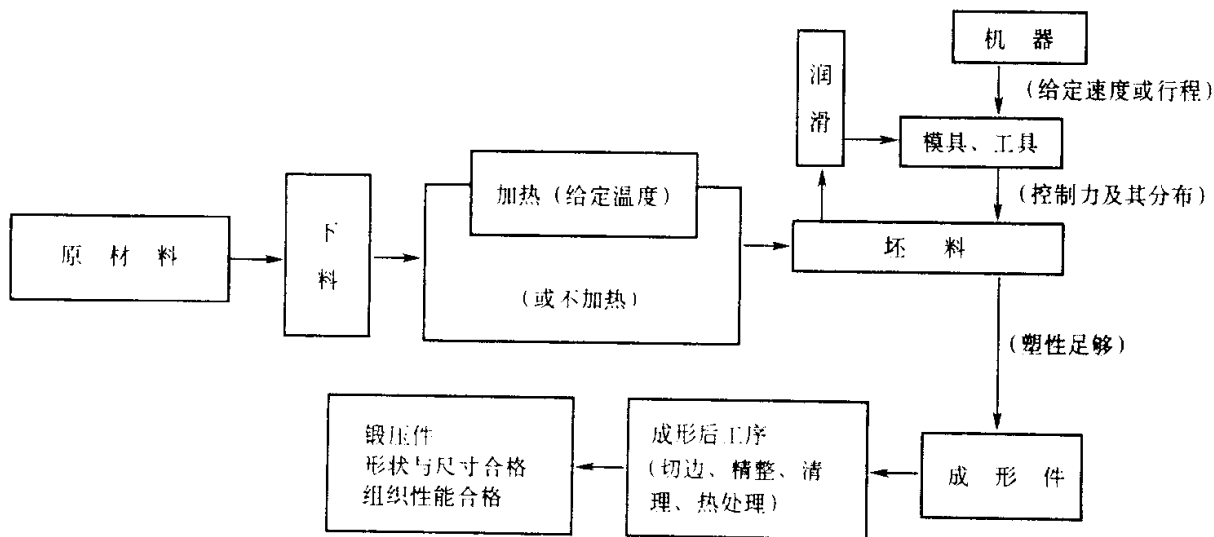


图1 塑性加工过程的基本环节