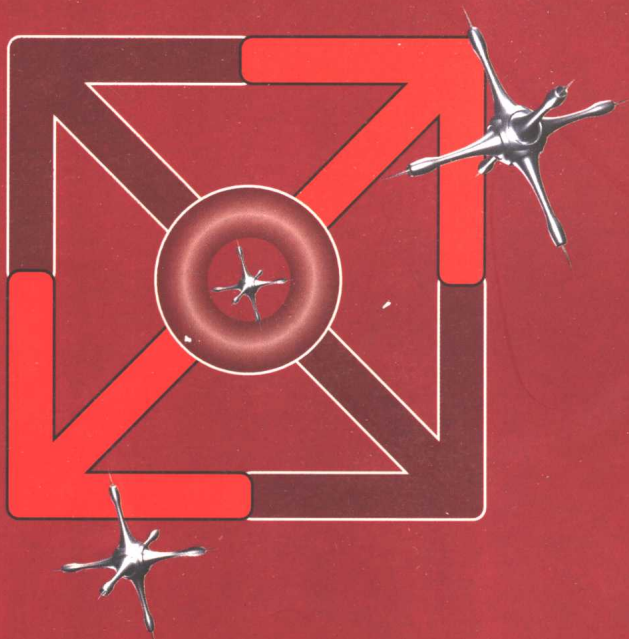


先进制造技术丛书

精密塑性体积成形技术

Technology of Precision Plastic Bulk Forming

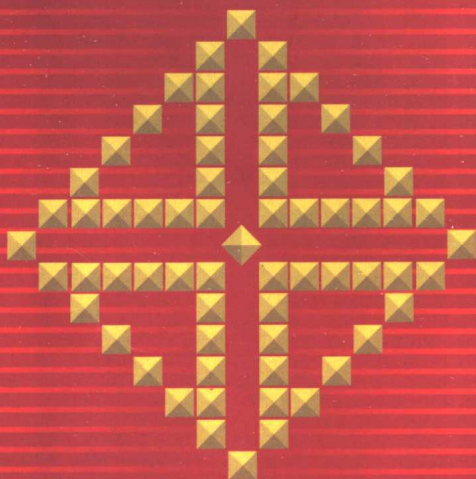
吕 炎 等编著



國防工業出版社

National Defense Industry Press

责任编辑：唐应恒
邢海鹰
封面设计：彭建华



ISBN 7-118-03035-X



ISBN 7-118-03035-X/TG·138

定价：30.00 元

9 787118 030358 >

先进制造技术丛书

精密塑性体积成形技术

Technology of Precision Plastic Bulk Forming

吕 炎 等编著

国防工业出版社

·北京·

图书在版编目(CIP)数据

精密塑性体积成形技术/吕炎等编著. —北京:国防工业出版社, 2003.2

(先进制造技术丛书)

ISBN 7-118-03035-X

I. 精... II. 吕... III. 塑性成形 - 技术
IV. TQ320.66

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 096333 号

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号)

(邮政编码 100044)

北京奥隆印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 850×1168 1/32 印张 11 $\frac{1}{8}$ 302 千字

2003 年 2 月第 1 版 2003 年 2 月北京第 1 次印刷

印数:1—2000 册 定价:30.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

致 读 者

本书由国防科技图书出版基金资助出版。

国防科技图书出版工作是国防科技事业的一个重要方面。优秀的国防科技图书既是国防科技成果的一部分,又是国防科技水平的重要标志。为了促进国防科技和武器装备建设事业的发展,加强社会主义物质文明和精神文明建设,培养优秀科技人才,确保国防科技优秀图书的出版,原国防科工委于1988年初决定每年拨出专款,设立国防科技图书出版基金,成立评审委员会,扶持、审定出版国防科技优秀图书。

国防科技图书出版基金资助的对象是:

1. 在国防科学技术领域中,学术水平高,内容有创见,在学科上居领先地位的基础科学理论图书;在工程技术理论方面有突破的应用科学专著。

2. 学术思想新颖,内容具体、实用,对国防科技和武器装备发展具有较大推动作用的专著;密切结合国防现代化和武器装备现代化需要的高新技术内容的专著。

3. 有重要发展前景和有重大开拓使用价值,密切结合国防现代化和武器装备现代化需要的新工艺、新材料内容的专著。

4. 填补目前我国科技领域空白并具有军事应用前景的薄弱学科和边缘学科的科技图书。

国防科技图书出版基金评审委员会在总装备部的领导下开展工作,负责掌握出版基金的使用方向,评审受理的图书选题,决定资助的图书选题和资助金额,以及决定中断或取消资助等。经评审给予资助的图书,由总装备部国防工业出版社列选出版。

国防科技事业已经取得了举世瞩目的成就。国防科技图书承

担着记载和弘扬这些成就,积累和传播科技知识的使命。在改革开放的新形势下,原国防科工委率先设立出版基金,扶持出版科技图书,这是一项具有深远意义的创举。此举势必促使国防科技图书的出版随着国防科技事业的发展更加兴旺。

设立出版基金是一件新生事物,是对出版工作的一项改革。因而,评审工作需要不断地摸索、认真地总结和及时地改进,这样,才能使有限的基金发挥出巨大的效能。评审工作更需要国防科技和武器装备建设战线广大科技工作者、专家、教授,以及社会各界朋友的热情支持。

让我们携起手来,为祖国昌盛、科技腾飞、出版繁荣而共同奋斗!

国防科技图书出版基金

评审委员会

**国防科技图书出版基金
第四届评审委员会组成人员**

名誉主任委员 陈达植

顾问 黄 宁

主任委员 殷鹤龄

副主任委员 王 峰 张涵信 张又栋

秘书长 张又栋

副秘书长 崔士义 蔡 锺

委员 于景元 王小谟 甘茂治 冯允成

(按姓名笔画排序)

刘世参 杨星豪 李德毅 吴有生

何新贵 佟玉民 宋家树 张立同

张鸿元 陈火旺 侯正明 常显奇

崔尔杰 彭华良 韩祖南 舒长胜

《先进制造技术丛书》

编委会名单

顾问	师昌绪	中国工程院院士,中国科学院院士、主席团顾问
主任	胡壮猷	中国科学院金属研究所学术委员会主任,工程院院士
副主任	张立同	西北工业大学教授,工程院院士
	徐滨士	装甲兵工程学院教授,工程院院士
	雷廷权	哈尔滨工业大学教授,工程院院士
	艾 兴	山东大学教授,工程院院士
	周 济	华中科技大学教授,工程院院士
委员	赵连城	哈尔滨工业大学教授,博士生导师
	曾松岩	哈尔滨工业大学教授,博士生导师
	黄树槐	华中科技大学教授,博士生导师
	李庆春	哈尔滨工业大学教授,博士生导师
	田锡唐	哈尔滨工业大学教授,博士生导师
	王仲仁	哈尔滨工业大学教授,博士生导师
	董 申	哈尔滨工业大学教授,博士生导师
	吴复兴	北京 625 所科学技术委员会主任,研究员
	方洪渊	哈尔滨工业大学材料学院副院长,博士生导师
秘书	王桂伟	哈尔滨工业大学材料学院教学秘书

序

制造业是我国国民经济的支柱产业,其增加值约占我国国内生产总值(GDP)的40%以上,振兴制造业是启动我国经济新高潮的杠杆,日本和美国的经验均可资借鉴,而先进制造技术是振兴制造业的系统工程中的重要组成部分之一。

先进制造技术(AMT—Advanced Manufacturing Technology)作为一个专有名词提出始于20世纪80年代末期,当时美国根据本国制造业面临的挑战与机遇,以及存在的问题进行了深刻反省,同时为了加强制造业的竞争能力和促进国民经济增长而提出先进制造技术新概念。从技术进步角度看,以计算机为中心的新一代信息技术的发展,全面推进了制造技术的飞跃发展,在不断汲取其它相关领域新技术的基础上,使创新贯穿于制造全过程,并使技术与管理相结合,不断推出新的制造模式,推动人类生产活动不断进步。

先进制造技术这一名词一经提出,立即获得世界各国的积极响应,将制造技术的发展推向新的高潮,经过20多年的努力,先进制造技术由于专业和学科间不断渗透、交叉、融合,技术日趋系统化、集成化,已发展成为集机械、电子、信息、材料和管理技术为一体的新兴交叉学科,可以称之为“制造工程”。

先进制造技术的核心和基础是优质、高效、低耗、清洁、无污染工艺,它是由传统的制造工艺发展起来的,并与计算机、信息、自动化、新材料及现代管理技术实现了局部或系统集成,以实现优质、高效、低耗、无污染和灵活生产,实现可持续发展。

未来先进制造技术的发展趋势是精密化、柔性化、智能化与集成化。首先设计技术不断现代化,突出反映在数值模拟与仿真

以及虚拟现实技术和产品建模理论等方面。成形制造技术向精密成形或近净成形方向发展,包括精密铸造、精密塑性成形和精密连接技术等。加工制造技术向超精密、超高速及发展新一代制造装备的方向发展。随着激光、电子束、离子束、分子束等新能源或其载体的引入,新型的高密度特种加工方法以及复合工艺不断发展,以至设计、材料应用、加工制造等专业学科界限日渐淡化,逐步趋向一体化。由于工艺模拟技术的迅速发展,也使工艺逐渐发展为工程科学。虚拟现实技术在制造业中获得日益广泛的应用。

为了适应世界知识经济时代的来临,促进先进制造技术在我国的发展,并为这一领域的科技人员提供必要的参考书,我们特地组织编写了本套《先进制造技术丛书》,希望它的出版有助于推动先进制造技术的快速进步,为我国的经济发展和国防现代化服务。

《先进制造技术丛书》编委会

2000年2月23日

前 言

精密塑性体积成形是指所成形的制件达到或接近成品零件的形状和尺寸,它是在传统塑性加工基础上发展起来的一项新技术。它不但可以节材、节能、缩短产品制造周期、降低生产成本,而且可以获得合理的金属流线分布,提高零件的承载能力,从而可以减轻制件的质量,提高产品的安全性、可靠性和使用寿命。该项新技术由于具有上述诸多优点,加之工业发展的需要,近 20 多年来得到了迅速发展,尤其在一些工业发达国家发展迅猛。目前,精密塑性体积成形技术作为先进制造技术的重要组成部分,已成为提高产品性能与质量、提高市场竞争力的关键技术和重要途径。

精密塑性体积成形技术目前主要用于两大领域:一是汽车、摩托车等需大批量生产的行业;二是航空、航天等行业,需生产一些形状复杂的零件,特别是一些难切削的形状复杂或高价材料(如钛、锆、钼、铌等合金)的零件。

精密塑性体积成形技术发展的总趋势是产品的复杂化、精密化和质量优化。

本书共分 10 章,介绍精密塑性体积成形的方法、精度控制、表面质量控制、模具结构和工艺设计等,重点是介绍复杂形状件的成形问题和精密塑性体积成形时型腔的充填问题。本书从塑性成形理论角度深入分析了各成形工序中的应力、应变问题,金属变形流动规律,影响金属成形质量的主要因素和改善成形质量的措施。根据本书作者揭示的局部加载时沿加载方向的应力分布规律和建立的塑性加工局部加载理论,深入分析了挤压等成形工序的变形机理和力能参数,并介绍了复杂形状锻件局部加载成形的技术。在此基础上介绍了各类零件的最佳成形方案,最后通过十个精密

成形实例将理论和实际有效地结合。总之,该书既反映了国内外精密体积成形技术的发展,也反映了我们在精密成形理论方面的新的体会和认识。

本书第1章~第5章和第10章由吕炎编写,第6、7章由单德彬编写,第8章由许沂编写,第9章由薛克敏编写,全书由吕炎主编。

由于编者水平有限,书中缺点在所难免,恳请读者批评指正。

编 者

目 录

第1章 绪论	1
第1节 概述.....	1
第2节 影响锻件精度问题的分析.....	3
第3节 拟定精密塑性体积成形工艺时应注意的问题.....	9
第2章 精密塑性体积成形的方法	11
第1节 概述	11
第2节 小飞边和无飞边模锻	16
第3节 挤压	20
第4节 闭塞式锻造	26
第5节 多向模锻	31
第6节 径向锻造	36
第7节 摆动辗压	40
第8节 等温模锻和超塑性模锻	44
第9节 精压	47
第3章 挤压时的变形和力能参数	64
第1节 挤压工序的受力情况和应力、应变分析.....	64
第2节 挤压时金属的变形和流动	65
第3节 挤压力的计算	74
第4节 冷挤压的许用变形程度	87
第5节 挤压时常见缺陷的分析	90
第6节 冷挤压的许用工艺尺寸和工艺参数	97
第7节 中间工序设计	99
第4章 精密塑性体积成形时型腔的充填问题	105
第1节 开式模锻时型腔充填问题的分析.....	105

第2节	闭式模锻时型腔充填问题的分析	117
第3节	精密塑性体积成形时改善充填质量的措施	137
第5章	各类锻件精密成形工艺	145
第1节	齿轮类锻件	145
第2节	轴类锻件	152
第3节	带有薄肋的锻件	159
第4节	叶片	161
第5节	环形件	163
第6节	等轴类扁薄锻件	163
第7节	带枝芽类的锻件	164
第8节	复杂形状的锻件	164
第9节	低塑性、高强度难变形材料的复杂形状锻件	165
第6章	精密塑性体积成形过程的数值模拟	166
第1节	概述	166
第2节	刚塑性/刚粘塑性有限元基础	168
第3节	三维刚塑性/刚粘塑性有限元计算中若干 技术问题的处理	177
第4节	有限元网格重新划分技术	187
第5节	筒形机匣成形过程的数值模拟	195
第6节	上机匣成形过程的数值模拟	200
第7章	精密塑性体积成形时的温度场	207
第1节	热锻过程中模具的温度场	208
第2节	热锻过程中锻件的温度变化	218
第8章	精锻模具设计	222
第1节	精锻模具的结构类型	222
第2节	精锻模膛设计中的几个问题	225
第3节	精锻模具的导向	227
第4节	精锻模具的强度问题	229
第5节	精锻模具的刚度问题	237
第6节	多余金属的容纳问题	238

第 7 节	等温装置·····	241
第 8 节	模具材料的选用·····	242
第 9 章	精密塑性体积成形工艺设计·····	247
第 1 节	精密塑性体积成形的工艺性分析·····	247
第 2 节	精密模锻件图和挤压件图的制定·····	249
第 3 节	精锻件用坯料的准备·····	257
第 4 节	精锻加热时的防护·····	275
第 5 节	精密成形时的润滑·····	281
第 6 节	精密成形变形力的计算·····	287
第 7 节	精密成形设备的选用·····	294
第 8 节	清理和冷却·····	298
第 10 章	精密塑性体积成形实例 ·····	302
第 1 节	直齿圆锥齿轮的精密模锻·····	302
第 2 节	直齿圆柱齿轮精密模锻·····	307
第 3 节	同步齿圈的精密成形·····	310
第 4 节	汽车轮胎螺母的热挤、温挤和冷挤 ·····	316
第 5 节	深孔变壁厚锥形件的挤压成形·····	324
第 6 节	步枪枪管冷精密成形·····	328
第 7 节	汽轮机叶片温热精压成形·····	336
第 8 节	LD5 锻铝合金叶片等温精密成形 ·····	339
第 9 节	铝合金筒形机匣等温精密成形·····	343
第 10 节	镁合金上机匣等温精密成形 ·····	347
	参考文献·····	355

Contents

Chapter 1 Introduction	1
1 Summary	1
2 Analyses of problems influencing the precision of the forging	3
3 Problems of the draft of the precision forming process	9
Chapter 2 Methods of the precision plastic bulk forming	11
1 Summary	11
2 Small flash die forging and flashless die forging	16
3 Extrusion	20
4 Fully enclosed die forging	26
5 Multiple ram forging	31
6 Radial forging	36
7 Rotary forging	40
8 Isothermal die forging and superplastic die forging	44
9 Precision coin	47
Chapter 3 Deformation and mechanics parameters of the extrusion	64
1 Analyses of the force bear and the stress and strain of the extrusion	64
2 Metal deformation and flow of the extrusion	65
3 Calculation of the extrusion force	74
4 Permissible deformation of the cold extrusion	87
5 Analyses of familiar defects of the extrusion	90

6	Permissible process dimensions and parameters of the cold extrusion	97
7	Design of mid-processings	99
Chapter 4 Fill of the die cavity of the precision plastic bulk forming		105
1	Analyses of die cavity fill of the closed die forging with flash	105
2	Analyses of die cavity fill of the closed die forging without flash	117
3	Methods to improve the fill quality of the precision forming	137
Chapter 5 Schemes of the precision forming of different kinds of forgings		145
1	Gear forgings	145
2	Axis forgings	152
3	Forgings with thin ribs	159
4	Blade forgings	161
5	Ring forgings	163
6	Flat forgings with isometric axes	163
7	Forgings with branches and twigs	164
8	Complex shape forgings	164
9	Complex shape forgings of low plasticity, high strength and poor forgeability materials	165
Chapter 6 Numerical simulation of the precision forging process		166
1	Summary	166
2	Basis of the rigid plastic/ rigid-viscoplastic finite element	168
3	Treatment of several technical problems of the three dimensional rigid plastic/ rigid-viscoplastic finite element	177