



国际制造业先进技术译丛

冷成形与精冲

冷成形工艺、材料性能、零件设计手册

R. -A. Schmidt F. Birzer P. Höfel

(德) M. Hellmann B. Reh

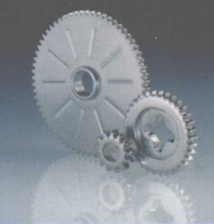
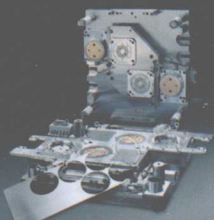
著

P. Rademacher H. Hoffmann

赵 震 向 华 庄新村 译



FEINTOOL



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



TG386-62/2

2008

国际制造业先进技术译丛

冷成形与精冲

冷成形工艺、材料性能、零件设计手册

R. -A. Schmidt F. Birzer P. Höfel

(德) M. Hellmann B. Reh 著

P. Rademacher H. Hoffmann

赵 震 向 华 庄新村 译

机 械 工 业 出 版 社

精冲成形技术,使以极少的加工工步生产出形状非常复杂的零件成为可能,既保证了高精度的表面质量,又可以复合成形出可直接用于装配工序的成品零件。本书是国际精冲成形领域的专家和教授结合多年精冲成形技术研究和生产实践所形成的大量经验的总结。书中介绍了冷成形与精冲用材料的基本原理、力学性能、成形工艺、剪切分离工艺、精冲与成形工艺极限、模具制造与润滑、工艺虚拟设计方案等内容。

本书可作为精冲成形相关行业技术人员的参考书,也可作为高校和科研院所相关科研人员和师生的重要参考文献。

R. -A. Schmidt, F. Birzer, P. Höfel, M. Hellmann, B. Reh, P. Rademacher, H. Hoffmann; Umformen und Feinschneiden

Copyright© 2006 by Carl Hanser Verlag Munchen Wien

All rights reserved.

Copyright© 2008 by China Machine Press

本书中文版由机械工业出版社独家出版发行。未经机械工业出版社的书面许可,不得以任何方式复制本书的任何部分。

北京市版权局著作权合同登记号: 01-2008-2131

图书在版编目 (CIP) 数据

冷成形与精冲: 冷成形工艺、材料性能、零件设计手册/ (德) 施密特 (Schmidt, R. A.) 等著; 赵震等译. —北京: 机械工业出版社, 2008. 5

(国际制造业先进技术译丛)

书名原文: Cold Forming and Fineblanking; A Handbook on Cold Processing Steel Material Properties Part Design

ISBN 978-7-111-24208-6

I. 冷... II. ①施... ②赵... III. ①冷冲压—技术手册 ②—精密冲裁—技术手册 IV. TG386-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 075324 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: 孔 劲 责任编辑: 孔 劲 责任校对: 刘志文

封面设计: 鞠 杨 责任印制:

北京双青印刷厂印刷

2008 年 6 月第 1 版第 1 次印刷

148mm × 210mm · 7.625 印张 · 216 千字

0001—3000 册

标准书号: ISBN 978-7-111-24208-6

定价: 65.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

销售服务热线电话: (010)68326294

购书热线电话: (010)88379639 88379641 88379643

编辑热线电话: (010)88379772

封面无防伪标均为盗版

译丛序言

一、制造技术长盛永恒

先进制造技术是 20 世纪 80 年代提出的，它由机械制造技术发展而来，通常可以认为它是将机械、电子、信息、材料、能源和管理等方面的技术，进行交叉、融合和集成，综合应用于产品全生命周期的制造全过程，包括市场需求、产品设计、工艺设计、加工装配、检测、销售、使用、维修、报废处理、回收利用等，以实现优质、敏捷、高效、低耗、清洁生产，快速响应市场的需求。因此，当前的先进制造技术是以产品为中心，以光机电一体化机械制造技术为主体，以广义制造为手段，具有先进性和时代感。

制造技术是一个永恒的主题，与社会发展密切相关，是设想、概念、科学技术物化的基础和手段，是所有工业的支柱，是国家经济与国防实力的体现，是国家工业化的关键。现代制造技术是当前世界各国研究和发展的主题，特别是在市场经济高度发展的今天，它更占有十分重要的地位。

信息技术的发展并引入到制造技术，使制造技术产生了革命性的变化，出现了制造系统和制造科学。制造系统由物质流、能量流和信息流组成。物质流是本质，能量流是动力，信息流是控制。制造技术与系统论、方法论、信息论、控制论和协同论相结合就形成了新的制造学科。

制造技术的覆盖面极广，涉及到机械、电子、计算机、冶金、建筑、水利、电子、运载、农业，以及化学、物理学、材料学、管理科学等领域。各个行业都需要制造业的支持，制造技术既有普遍性、基础性的一面，又有特殊性、专业性的一面，制造技术既有共性，又有个性。

我国的制造业涉及以下三方面的领域：

- 机械、电子制造业，包括机床、专用设备、交通运输工具、机械设备、电子通信设备、仪器等。
- 资源加工工业，包括石油化工、化学纤维、橡胶、塑料等。
- 轻纺工业，包括服装、纺织、皮革、印刷等。

目前世界先进制造技术沿着全球化、绿色化、高技术化、信息化、个性化和服务化、集群化六个方向发展。在加工技术上，主要有超精密加工技术、纳米加工技术、数控加工技术、极限加工技术、绿色加工技术等；在制造模式上，主要有自动化、集成化、柔性化、敏捷化、虚拟化、网络化、智能化、协作化和绿色化等。

二、图书交流渊源流长

近年来，国际间的交流与合作对制造业领域的发展、技术进步及重大关键技术的突破起到了积极的促进作用，制造业科技人员需要及时了解国外相关技术领域的最新发展状况、成果取得情况及先进技术应用情况等。

必须看到，我国制造业与工业发达国家相比，仍存在较大差距。因此必须加强原始创新，在实践中继承和创新，学习国外的先进制造技术和经验，引进、消化、吸收、创新，提高自主创新能力，形成自己的创新体系。

国家、地区间的学术、技术交流已有很长的历史，可以追溯到唐朝甚至更远一些。唐玄奘去印度取经，可以说是一次典型的图书交流佳话。图书资料是一种传统、永恒、有效的学术、技术交流方式。早在 20 世纪初期，我国清代学者严复就翻译了英国学者赫胥黎所著的《天演论》，其后学者周建人翻译了英国学者达尔文所著的《进化论（物种起源）》，对我国自然科学的发展起到了很大的推动作用。

图书是一种信息载体，图书是一个海洋。虽然现在已有网络、光盘、计算机等信息传输和储存手段，但图书更具有广泛性、适应性、系统性、持久性和经济性。看书总比在计算机上看资料要方便习惯，不同层次的要求可以参考不同层次的图书，不同职业的人员可以参考不同类型的技术图书，同时它具有比较长期的参考价值和收藏价值。当然，技术图书的交流具有时间上的滞后性，不够及时，

翻译的质量也是个关键问题,需要及时、快速、高质量的出版工作支持。

机械工业出版社希望能够在先进制造技术的引进、消化、吸收、创新方面为广大读者做出贡献,为我国的制造业科技人员引进、纳新国外先进制造技术的出版资源,翻译出版国际上优秀的制造业先进技术著作,从而能够提升我国制造业的自主创新能力,引导和推进科研与实践水平的不断进步。

三、选择严谨质高面广

1) 精品重点高质 本套丛书作为我社的精品重点书,在内容、编辑、装帧设计等方面追求高质量,力求为读者奉献一套高品质的丛书。

2) 专家选择把关 本套丛书的选书、翻译工作均由国内相关专业的专家、教授、工程技术人员承担,充分保证了内容的先进性、适用性和翻译质量。

3) 引纳地区广泛 主要从制造业比较发达的国家引进一系列先进制造技术图书,组成一套“国际制造业先进技术译丛”。当然其他国家的优秀制造科技图书也在选择之内。

4) 内容先进丰富 在内容上应具有先进性、经典性、广泛性,应能代表相关专业的技术前沿,对生产实践有较强的指导、借鉴作用。本套丛书尽量涵盖制造业各行业,例如机械、材料、能源等,既包括对传统技术的改进,又包括新的设计方法、制造工艺等技术。

5) 读者层次面广 面对的读者对象主要是制造业企业、科研院所的专家、研究人员和工程技术人员,高等院校的教师和学生,可以按照不同层次和水平要求各取所需。

四、衷心感谢不吝指教

首先要感谢许多积极热心支持出版“国际制造业先进技术译丛”的专家学者;积极推荐国外相关优秀图书,仔细评审外文原版书,推荐评审和翻译的知名专家;特别要感谢承担翻译工作的译者,对各位专家学者所付出的辛勤劳动表示深切敬意;同时要感谢国外各家出版社版权工作人员的热心支持。

希望本套丛书能对广大读者的工作提供切实的帮助。欢迎广大读者不吝指教，提出宝贵意见和建议。

机械工业出版社

译者序

《冷成形与精冲》一书是由活跃在国际精冲成形领域的 Feintool 技术公司、Buderus 特种钢钢带公司、C. D. Wälzholz 公司、Hoesch Hohenlimburg 公司的一批专家，以及慕尼黑工业大学的 Hoffmann 教授共同完成的。本书是作者们多年精冲成形技术研究和生产实践所形成的大量经验的总结。

本书共分 9 章，分别介绍了冷成形与精冲用材料的基本原理、力学性能、成形工艺、剪切分离工艺、精冲与成形工艺极限、模具制造与润滑、工艺虚拟设计方法。

精冲技术是平面变形与体积变形的综合技术。随着板料精密冲裁技术与体积成形技术的不断结合，精冲复合成形技术已成为精冲技术的重要发展趋势，并已成为汽车等行业许多关键零件制造工艺的必然选择。本书对各种精冲复合成形工艺及其基本原理进行了非常详细的介绍。另外，材料始终是影响精冲复合成形技术发展的核心环节之一，本书亦以较大的篇幅介绍了冷成形与精冲用材料的基本原理及其对成形性能的影响。CAD、CAE 等计算机辅助工具已引入精冲复合成形工艺开发，并在工艺开发中发挥日益重要的作用，书中亦介绍了在该领域所开展的前沿工作。技术尖端性、实用性是本书的主要特点。本书涵盖了国际精冲行业的最新技术，并以图文并茂的方式给读者以实际的指导。

随着汽车制造业的迅猛发展和全球制造业中心向中国的转移，我国正进入精冲行业的高速发展阶段。行业的技术进步迫切需要先进的成形工艺、材料、零件设计、模具、润滑、设备等技术提供强有力的支撑。相信本书的出版将对我国精冲行业的发展起到积极的促进作用，也对我国高校和科研院所的材料加工工程学科，以及机械工程学科正在兴起的冲锻复合成形研究起到推动作用。因此，本书对于精冲从业人员以及与精冲成形相关行业（如精冲设备、零件

材料、润滑油、模具材料、模具制造等) 从业人员有很高的参考价值, 也可作为高校和科研院所相关教学和科研人员的重要参考文献。

上海交通大学模具 CAD 国家工程研究中心(上海模具技术研究所) 在阮雪榆院士领导下, 于 1996 年起与瑞士 Feintool 公司共同创建了精冲技术联合研究室, 开展精冲工艺计算机辅助设计技术与精冲基础技术研究。研究室的赵震博士、向华工程师和庄新村博士承担了本书的翻译工作。太仓威尔斯-克恩·里伯斯(Wälzholtz-Kern. Liebers) 新材料有限公司的林仁荣博士译校了本书第 2、6、7 章, 上海交通大学吴公明教授对全书作了译审。

在翻译过程中, 得到了 Feintool 公司中国代表处瑞士技术中心韩静先生、陈莉女士、福斯(FUCHS) 油品公司高嵩先生、上海交通大学李明辉教授、上海模具技术研究所孔啸高级工程师的协助, 在此一并感谢。

由于译者水平有限, 不当之处, 敬请读者斧正, 不胜感激。

译 者
于上海交通大学

导 言

鉴于目前汽车、机械、设备、消费品等行业对所需产品质量的高标准要求，精度已成为产品的零部件生产和装配过程中越来越被重视的因素。为了大批量、高效、经济地生产这些零件，就需要尽可能地减少零件的加工工序，进而降低原材料成本、模具成本、设备运营成本、物流及质量控制成本。因此有必要设计和制造集成多个零件功能的单一复杂零件，从而最小化加工工序。

对于越来越多的复杂成形零件而言，精冲工艺通过与多种冷成形工艺结合，为业内制造者提供了一个看似十分矛盾的解决方案：以极少的加工工步制造出形状非常复杂的零件。除了保证零件十分光洁、高精度的表面质量外，精冲工艺还能复合成形多种不同的几何特征，例如凸缘、挤压、压印、拉深等。在很多情况下，这些复合工艺能生产出成品零件，直接用于装配工序。这些都需要与此相关的从业人员，如模具设计人员、产品工艺设计人员和制造工程人员具备材料、模具和系统技术方面的相关知识，从而设计出先进、可行的制造技术方案。

本书的目的在于简明、清晰地向读者介绍当今先进的精冲成形技术。为此，本书介绍了材料学、剪切和成形方面的基本原理，并从设计经济高效的精冲生产工艺的角度，提出了实用的参考建议。本书由与精冲成形工艺相关的各方面专家共同编撰，向读者全面介绍了精冲成形工艺各环节的技术关注点，旨在帮助精冲生产领域的从业人员在材料选择、设备选用和模具设计时，特别是在实现大批量零件的可靠生产、保障产品的质量、有效延长模具寿命方面提供有益的科学依据和指导性参考。

Hartmut Hoffmann

本书合作编撰伙伴

Buderus Edelstahl Band GmbH

地址: Buderusstraße 25, D-35576 Wetzlar

电话: +49 6441 374 0, 传真: +49 6441 374 882

制造各种规格热轧和冷轧材料, 包括机械及相关工程领域用普通碳素钢、合金钢、模具钢, 精冲生产用不锈钢, 精冲和普通冲压用模具钢。

Feintool Technologie AG Lyss

地址: Industriering 3, CH-3250 Lyss/Switzerland

电话: +41 32 387 51 11, 传真: +41 32 387 57 80

E-Mail: feintool-flt@feintool.com

www.feintool.com

全套精冲成形技术供应商: 提供包括精冲压力机和精冲模具的全套精冲生产线设备, 以及精冲零件制造、工艺技术咨询、培训等全面精冲技术服务。

Hoesch Hohenlimburg GmbH

地址: Langenkampstraße 14, D-58119 Hagen

电话: +49 2334 91 0, 传真: +49 2334 91 2288

E-Mail: info@hoesch-hohenlimburg.de

www.hoesch-hohenlimburg.de

提供精冲及极端成形条件下使用的特种热轧材料。

Unternehmensgruppe C. D. Wälzholz

C. D. Wälzholz GmbH&Co. KG

地址: Feldmühlenstrasse 55, D-58093 Hagen

电话: +49 2331 964 -0, 传真: +49 2331 964 -2100

开发、制造、供应冷轧材料。

慕尼黑工业大学成形与铸造技术研究所

地址: Walther-Meißner-Straße, D-85747 Garching

金属成形与铸造系。

本书作者



Rolf-A. Schmidt 博士
技术部经理
Feintool 技术公司
瑞士 Lyss



Michael Hellmann 博士
质量工程部经理
C.D. Wälzholz 公司
德国 Plettenberg



Burkhard Reh 博士
研发与产品管理部经理
Buderus Edelstahl Band 公司
德国 Wetzlar



Peter Rademacher
质量工程部总监
C.D. Wälzholz 公司
德国 Hagen



Peter Höfel 硕士
质量管理与测试实验室经理
Hoesch Hohenlimburg 公司
德国 Hagen



Franz Birzer 教授、硕士
Feintool 技术公司
瑞士 Lyss



Hartmut Hoffmann 教授、博士
慕尼黑工业大学成形与铸造技
术研究所所长

目 录

译丛序言

译者序

导言

第1章 绪论 1

第2章 基本原理 3

2.1 零件材料 3

2.1.1 应力与应变 3

2.1.2 材料特性 13

2.1.3 流动应力曲线 24

参考文献 30

2.2 影响钢材属性的因素 31

2.2.1 冶金 32

2.2.2 热轧 40

2.2.3 冷轧 48

参考文献 54

2.3 钢的性能对冷成形和精密冲裁的影响 54

2.3.1 冷成形 55

2.3.2 精密冲裁 57

参考文献 63

第3章 成形工艺 65

3.1 成形的一般概念 65

3.1.1 应变 66

3.1.2 应力 69

3.1.3 流动应力曲线 69

3.1.4 加工硬化	70
3.1.5 摩擦	70
3.1.6 成形性能与成形极限	71
参考文献	73
3.2 拉深	73
3.2.1 概述	73
3.2.2 凸模力计算	77
3.2.3 成形极限	77
3.2.4 凸缘件的拉深成形	78
3.2.5 凸、凹模圆角半径	78
参考文献	84
3.3 翻边成形	84
3.3.1 概述	84
3.3.2 模具几何形状与翻边特征	84
3.3.3 无材料拉伸作用的翻边成形力计算	87
3.3.4 有材料拉伸作用的翻边成形力计算	88
3.3.5 带压板的翻边成形	89
3.3.6 带对向凸模的翻边成形	90
3.3.7 材料受压作用下的翻边成形	91
参考文献	92
3.4 弯曲	92
3.4.1 概述	92
3.4.2 弯曲成形特点	93
3.4.3 回弹与回弹补偿	95
3.4.4 弯曲工艺中的成形力	97
3.4.5 成形极限	97
3.4.6 弯曲件展开长度	98
参考文献	99
3.5 镦粗和平面压扁	100
3.5.1 概述	101
3.5.2 成形极限与成形性能	101

3.5.3 镦粗力计算	102
3.5.4 局部镦粗的几何尺寸及工艺力计算	102
参考文献	104
3.6 沉孔	105
3.6.1 概述	106
3.6.2 无预冲孔的沉孔工艺	106
3.6.3 带预冲孔的沉孔工艺	106
3.6.4 成形力计算	108
参考文献	110
3.7 剪挤	110
3.7.1 概述	110
3.7.2 成形力计算	110
3.7.3 剪挤深度与成形极限	112
参考文献	113
3.8 挤压	114
3.8.1 概述	115
3.8.2 沉孔与实心体正挤复合的挤压工艺	115
参考文献	116
第4章 剪切分离工艺	118
4.1 冲裁	118
4.1.1 冲裁工艺	118
4.1.2 冲裁表面特征	121
4.1.3 冲裁力与冲裁力-行程曲线	121
4.1.4 磨损与减少磨损的方法	129
4.1.5 提高冲裁件精度的方法	130
参考文献	132
4.2 精密冲裁	133
4.2.1 工作原理	133
4.2.2 力的计算	134
4.2.3 力-行程曲线	136

4.2.4 精密冲裁过程	137
4.2.5 冲裁间隙	140
4.2.6 V形齿圈	141
4.2.7 精密冲裁结果	142
参考文献	144
第5章 精冲与成形工艺极限	146
5.1 平面精冲件难度等级	146
5.1.1 精冲难度等级定义	146
5.1.2 难度等级计算的基础	146
5.1.3 精冲件难度等级评定	150
参考文献	154
5.2 成形极限	154
参考文献	159
第6章 钢种	160
6.1 钢材标准	160
6.2 钢材的选择与供应状态	163
6.2.1 热轧带钢	163
6.2.2 冷轧带钢	163
参考文献	164
6.3 名词定义、测量与特征公差	164
6.3.1 扁材及其名词定义	164
6.3.2 尺寸及形位公差	165
参考文献	169
6.4 根据零件难度等级选择精冲材料的供应状态	169
6.4.1 选择标准	169
6.4.2 选择示例	170
参考文献	176
第7章 钢材的力学性能	178
7.1 软钢与非合金钢	179

7.2	普通结构钢	179
7.3	微合金细晶粒钢	180
7.4	渗碳钢	181
7.5	调质钢	182
7.6	弹簧钢	183
7.7	氮化钢	184
7.8	工具钢	184
7.9	滚动轴承钢	185
7.10	硼钢	185
7.11	低温钢	186
7.12	压力容器钢	186
7.13	不锈钢	187
7.14	特殊钢	188
第8章	成形过程控制与模具质量	189
8.1	模具制造	189
8.1.1	模具工作零件的材料选择	189
8.1.2	模具钢的热处理	190
8.1.3	硬态机加工工艺及其对表面质量的影响	192
8.1.4	工作零件的涂层	199
8.2	润滑	200
	参考文献	207
第9章	工艺虚拟设计方法	210
	参考文献	213