

卧式多工位 精密热锻技术

HATEBUR Metalforming Equipment Ltd.
组编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

卧式多工位精密 热锻技术

HATEBUR Metalforming Equipment Ltd. 组编

Andy Matt, 赵震, 胡成亮, Mihai Vulcan, Patrick Stemmelin,

Olivier Ritter, 高崇晖, Reinhard Bühner 编著



机械工业出版社

卧式多工位精密热锻技术是一种锻造工艺水平高、生产效率高、自动化程度高的锻造生产方式,所生产的锻件精度高、质量好,是锻造技术发展的重要方向之一。

本书共分 10 章,介绍了锻造技术的发展历程、锻造技术基础、卧式多工位高速热锻生产线、外围设备,并结合卧式多工位精密热锻工艺的特点讲述了如何进行模具设计和制造,阐明了合适的锻造材料和技术要求以及常用的锻后加工工序,同时列举了典型的汽车锻件、轴承和紧固件等应用案例。最后,对锻造技术的发展趋势以及多工位高速精密热锻技术的应用前景进行了展望。

本书可供金属塑性成形领域的科研人员、工程技术人员和从事相关工作的管理人员使用,也可供高等院校相关专业的师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

卧式多工位精密热锻技术/瑞士哈特贝尔金属成型设备有限公司组编;
(德)马特(Matt, A.)等编著. —北京:机械工业出版社, 2015.8

ISBN 978-7-111-51375-9

I. ①卧… II. ①瑞… ②马… III. ①锻造-工艺学 IV. ①TG316

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 202822 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 王春雨

版式设计:霍永明 责任校对:佟瑞鑫

封面设计:鞠 杨 责任印制:乔 宇

北京画中画印刷有限公司印刷

2016 年 1 月第 1 版第 1 次印刷

148mm×210mm·3.5 印张·2 插页·87 千字

0001—2000 册

标准书号:ISBN 978-7-111-51375-9

定价:39.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

服务咨询热线:010-88361066

机工官网:www.cmpbook.com

读者购书热线:010-68326294

机工微博:weibo.com/cmp1952

010-88379203

金书网:www.golden-book.com

封面无防伪标均为盗版

教育服务网:www.cmpedu.com

策 划 编 辑:010-88379772

前 言

在过去十余年间，随着中国经济的高速发展，人们对于交通出行需求不断增加。根据中国汽车工业协会的统计数据，2000年中国汽车的年产量为206万辆，到2014年增加到2370万辆。汽车产业的蓬勃发展无疑成为中国经济快速增长的推动力，也带动锻造行业快速发展。然而，传统锻造工艺以及落后的生产设备已无法满足目前对高品质精密复杂锻件生产的要求，也不能适应节能减排的发展趋势。

卧式多工位精密热锻是一种先进的锻造技术，能够满足现代化锻造生产的要求，尤其适合大批量生产。与传统的单工位锻造工艺相比，多工位高速精密锻造是一种高度集成化的工艺，不受操作人员或各种工艺限制条件的约束，因而降低了外部因素对锻件质量的影响。此外，它还具有很高的生产效率，是一种既经济又节能的技术。

本书对卧式多工位精密热锻技术进行了详细阐述，介绍了其为汽车行业提供高品质精密锻件的集成工艺过程，便于读者更好地理解该项技术。本书由该领域经验丰富的专家编著，内容聚焦于相关技术的实际应用。本书可供金属塑性成形领域的科研人员、工程技术人员以及从事相关工作的管理人员使用，也可供高等院校相关专业师生参考。

Reinhard Bühner

Director Business Development Asia

HATEBUR Metalforming Equipment Ltd.

作者简介



Andy Matt; HATEBUR Metalforming Equipment Ltd.
首席技术官，获得工程和工业工程学士学位，拥有超过 25 年的专业经验，在卧式多工位锻造设备研发和大规模锻造生产领域具有渊博的知识。

赵震：博士，上海交通大学材料科学与工程学院塑性成形技术与装备研究院教授，国际冷锻组织（ICFG）顾问委员会成员，主要研究领域包括精密锻造理论与技术、板料锻造、精冲技术等。2004—2012 年主持上海交通大学和 HATEBUR 的技术合作。



胡成亮：上海交通大学材料科学与工程学院塑性成形技术与装备研究院副研究员，国际冷锻组织（ICFG）通讯会员，合肥工业大学材料加工工程专业博士毕业，上海交通大学材料科学与工程博士后流动站出站，长期从事精密锻造理论与技术研究。2008—2012 年参与上海交通大学和 HATEBUR 合作的基于数值模拟的多工位高速锻造工艺优化系统研发项目。

Mihai Vulcan; HATEBUR Metalforming Equipment Ltd. 研发技术部主管，获德国斯图加特大学机械工程博士学位，拥有超过 15 年的专业经验，其研究领域为金属体积成形和板料成形。





Patrick Stemmelin: HATEBUR Metalforming Equipment Ltd. 模具与工艺部经理，资深模具工程师，在 HATEBUR 工作超过 25 年，在冷锻、温锻和热锻工艺和模具方面掌握丰富的技术知识，积累了丰富的实践经验。

Olivier Ritter: HATEBUR Metalforming Equipment Ltd. 模具与工艺部工程师，获法国南锡国立高等矿业学校材料科学和生产管理硕士学位，在冷锻、温锻和热锻成形领域有数十年的专业经验。



高崇晖：哈特贝尔（上海）贸易有限公司模具工程师，获上海交通大学材料加工工程硕士学位。2005—2012 年参与上海交通大学和 HATEBUR 合作的模具运动仿真系统和基于数值模拟的多工位高速锻造工艺优化系统的研发项目，现主要从事卧式多工位高速冷锻、热锻模具设计、技术咨询和生产支持工作。

Reinhard Bühner: HATEBUR Metalforming Equipment Ltd. 亚洲区业务拓展总监，获市场营销学硕士学位，同时具有深厚的专业技术背景，在不同市场行业设备销售和营销投资方面拥有 20 多年的丰富经验。



HATEBUR 简介

HATEBUR Metalforming Equipment Ltd. 是 1930 年成立于瑞士的家族企业，作为卧式多工位高速精密锻造设备及相关模具技术研发的全球领导者，始终致力于自动化精密锻造设备研发与多工位锻造工艺创新，从创意开发到可行性研究直至完成概念设计和详细设计，运用先进的技术及严格的质量控制体系将核心知识转化为应用实践，最大程度的满足客户的需求。HATEBUR 秉承悠久的历史传统，践行创新的理念，结合无畏的开拓精神、几十年的经验积累、卓越的技术和堪称典范的服务，通过一系列开创性产品在现代大规模生产的发展历史上树立了一个又一个里程碑。



HATEBUR 的产品和技术主要面向汽车、轴承和紧固件等行业，用于金属精密锻件的大批量生产，受到大量高要求客户的青睐。HATEBUR Cold-matic 冷锻设备能够直接用盘料应用近净成形技术生产精密复杂锻件，具有非常高的精度、表面质量和抗拉强度。HATEBUR Hotmatic 热锻设备以自动化集成工艺生产齿轮毛坯、轴承环和螺母等精密锻件。除

了精度和灵活性，其高速锻造设备还具有无与伦比的生产速度，以其经济性成为大批量锻件生产的最佳选择。

HATEBUR 的子公司和代理商遍布全球。2008 年，HATEBUR 在中国成立了哈特贝尔（上海）贸易有限公司，2015 年 HATEBUR 新成立了哈特贝尔金属成型技术（上海）有限公司，建立了专业的团队，一起为中国客户提供卧式多工位高速精密冷、热锻造设备销售、

安装、备件、检修维修、故障排除、锻造工艺及其模具设计咨询、高品质模具制造及生产技术支持等专业服务。



HATEBUE Hotmatic 卧式多工位高速精密热锻设备

设备型号	AMP20S	AMP30S	HM35	HM45	AMP50XL	AMP70	HM75XL
工位数	3	3	4	4	4	4	4
锻造吨位 /kN	900	2500	3900	5000	8000	15000	20000
可生产锻件 最大直径 /mm	38	67	75	82	104	145	180
六角锻件最大 对边宽度 /mm	36	60	68	74	80	130	—
棒料直径/mm	14~28	18~40	18~45	20~50	28~55	36~75	45~90
下料重量 /kg	0.02~0.17	0.05~0.7	0.06~0.9	0.074~1.2	0.17~2.0	0.4~5.0	0.95~7.5
可无级调速 行程数 (/min ⁻¹)	140~200	85~140	110~170	90~150	60~100	50~80	50~80

HATEBUR Metalforming Equipment Ltd.
 General Guisan-Strasse 21
 CH-4153 Reinach Switzerland
 电话: +41 61 716 21 11
 传真: +41 61 716 21 31
 E-mail: hatebur@hatebur.ch
 www.hatebur.com



目 录

前言

作者简介

HATEBUR 简介

第 1 章 绪论	1
1.1 锻造技术介绍	1
1.1.1 锻造的历史及大批量生产	1
1.1.2 卧式多工位热锻工艺	2
1.2 锻件分类	3
1.2.1 锻件类型	3
1.2.2 应用行业	4
1.3 市场概况	6
1.3.1 中国锻造业现状	6
1.3.2 汽车行业的重要性	8
第 2 章 锻造技术基础	9
2.1 定义	9
2.2 分类	9
2.3 工艺特点	10
2.4 塑性成形基本理论	10
2.4.1 常用术语	10
2.4.2 塑性成形理论	10
2.4.3 屈服准则	12
2.4.4 应力-应变曲线	14
2.4.5 成形力计算	17

2.4.6 摩擦与润滑	20
2.5 热锻工艺	21
2.5.1 自由锻	21
2.5.2 开式模锻	21
2.5.3 闭式模锻	22
2.5.4 典型工艺	22
2.6 立式锻造与卧式锻造	25
2.6.1 立式多工位锻造	25
2.6.2 卧式多工位锻造	25
第3章 卧式多工位精密热锻生产线	27
3.1 概述	27
3.2 设计理念	28
3.2.1 机器床身	28
3.2.2 动力传输	29
3.2.3 自动送料机构	29
3.2.4 热态剪切下料系统	30
3.2.5 机械手传送系统	32
3.2.6 模具快速更换	34
3.2.7 顶出装置	35
3.2.8 模具冷却	35
3.2.9 侧向出料	37
3.2.10 噪声隔离与防护	38
3.3 监测与控制	39
3.3.1 成形力监测	39
3.3.2 料头料尾自动检测与剔料 ESA 系统	39
3.3.3 凸模探头	41
第4章 外围设备	43
4.1 棒料架	43
4.2 感应加热器	44

4.3	自动出料传送带	45
4.4	冷却塔和循环水路	45
4.5	吊装设备	46
第5章 模具设计与工艺开发		48
5.1	工艺特点与优势	48
5.2	工艺开发流程	49
5.3	可行性分析	51
5.4	变形工序设计	51
5.5	有限元模拟	53
5.6	模具设计	54
5.7	模具调试	56
第6章 模具制造		59
6.1	模具材料选择	59
6.1.1	模具材料的选择方法	59
6.1.2	根据零件功能选择材料	60
6.2	模具制造	62
6.2.1	机加工方法	62
6.2.2	电火花加工	64
6.2.3	模具加工设备	64
6.3	热处理与表面处理	66
6.3.1	热处理	66
6.3.2	氮化处理	67
6.4	模具装配	68
6.4.1	功能检查	68
6.4.2	预应力凹模的设计及装配原则	69
6.5	模具管理策略	70
6.5.1	模具准备	70
6.5.2	模具质量控制	71
6.5.3	模具更换和维护策略	71

6.5.4 易损件评估	72
第7章 锻造材料	74
7.1 综述	74
7.2 材料标准	74
7.2.1 钢材标准	74
7.2.2 铜材标准	75
7.3 尺寸规格和允许偏差	75
7.3.1 直径允许偏差	75
7.3.2 棒料平直度	77
7.4 加热温度与锻造温度	77
7.4.1 钢材	77
7.4.2 铜材	78
7.5 材料物流	78
7.6 常用热锻材料	78
第8章 后续工序	81
8.1 热处理	81
8.1.1 锻件热处理	81
8.1.2 利用锻后余热热处理	82
8.2 抛丸处理	84
8.3 机加工	85
8.3.1 热处理前的机加工	85
8.3.2 热处理后的机加工	85
8.4 冷成形	85
8.4.1 冷精整	85
8.4.2 冷辗环	85
8.4.3 冷摆辗	86
第9章 应用案例	87
9.1 螺母锻件	87
9.2 凸轮块	88

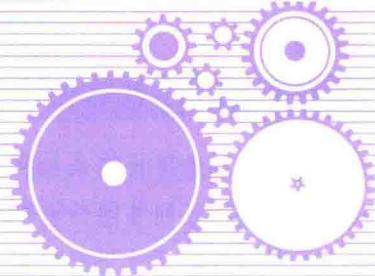
9.3 十字轴与三销轴	88
9.4 齿轮毛坯	89
9.5 法兰轴	90
9.6 轮毂	90
9.7 等速万向节钟形壳	91
9.8 轴承套圈	92
9.9 接头配件	92
9.10 特殊锻件	93
第 10 章 展望	95
参考文献	97

第

1

章

绪 论



1.1 锻造技术介绍

1.1.1 锻造的历史及大批量生产

锻造是最古老的零件生产制造工艺之一。早期,金属坯料通过人工使用锻锤和锻砧完成锻打成形,被称为铁器加工或自由锻造。在加工过程中,使用炉火对坯料进行加热,当温度加热到再结晶温度以上时,放在特殊形状的铁砧上,使用锤子锻打成所需的形状和尺寸(见图 1-1)。



图 1-1 铁匠们在工作^[1]

锻打高温金属也需要非常丰富的经验，这些经验涉及何时、何处以及如何锻打坯料才能获得所需的工件形状。这种工艺被长期用于生产小批量、普通尺寸与形状简单的锻件。

随着人们需求的变化，传统的自由锻造已无法满足大批量、形状复杂的锻件的生产要求。19 世纪后期欧洲工业化进程的启动以及金属零部件和制品的需求不断增加，为锻造工艺的发展创造了有利条件。人们开始使用各种金属成形设备（如锻锤、机械压力机、螺旋压力机等）进行锻造，使精密锻件大批量生产得以实现。

如今，锻件广泛应用于汽车、机械、冶金、造船、航空、航天以及其他许多工业领域。锻造的主要目标是制造出符合规定尺寸与公差、内部组织结构和性能要求的合格产品。与其他方法生产的零件相比，锻件产品最重要的一个特征是其抗冲击性能和韧性明显增强。此外，随着锻造过程自动化技术的发展，生产效率也有了显著的提高。因此，使用锻造工艺可以高效地生产出各种金属零件，并且在多数情况下可以获得预期的锻件性能，如更高的强度、韧性和抗疲劳特性。

1.1.2 卧式多工位热锻工艺

在过去的几十年中，金属成形技术，特别是锻造技术迅速发展，同时对高品质锻件的需求不断增加，因此，锻造设备的发展实现了从锻锤、液压机到串联式压力机生产线，以至立式或卧式多工位锻造设备的飞跃。

安装了专用模具的锻锤或液压机适用于小批量锻件（约 100 ~ 5000 件）的生产。在剪切或锯切下料后，将料段放入加热设备中加热至锻造温度，锻件可由半自动化装置或手工方式传送。

串联式压力机与立式多工位锻造设备采用液压或机械驱动，并配备自动传输系统，较适合中等批量锻件的生产。这种设备的生产速度约为每分钟 40 件。

卧式多工位热锻设备特别适合于 20000 件及以上规模的大批量生产，效率远高于其他设备。根据不同的锻件产品尺寸，卧式多工位热锻设备的生产速度可达每分钟 50~200 件。图 1-2 为 HATEBUR AMP 30S 卧式多工位热锻生产线。

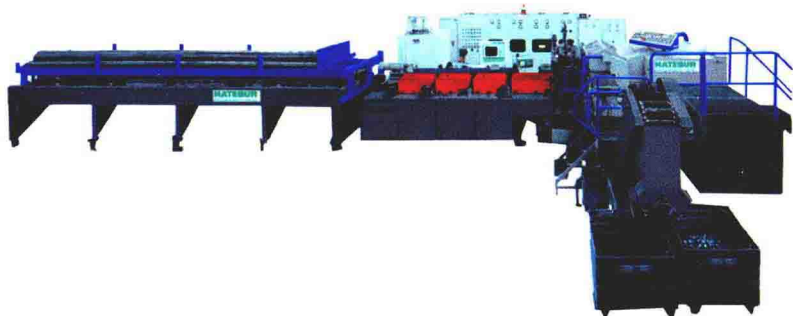


图 1-2 HATEBUR AMP 30S 卧式多工位热锻生产线（图片来源：HATEBUR）

1.2 锻件分类

1.2.1 锻件类型

卧式多工位热锻设备可以锻造出各种锻件，小到只有几十克重的螺母或凸轮块，大到重达几千克的法兰件、轮毂、齿坯和万向节钟形壳等。最常用的锻造材料是钢材和铜合金。图 1-3 所示为多种钢质锻件。



图 1-3 钢质锻件（图片来源：HATEBUR）

件，图 1-4 所示为黄铜锻件。



图 1-4 黄铜锻件（图片来源：HATEBUR）

1.2.2 应用行业

卧式多工位热锻设备生产的锻件有很大比例是用于汽车传动系统，例如凸轮块、平衡轴和输出法兰等锻件，还有各类齿轮箱使用的齿轮、行星齿轮和同步齿轮锻件。装配在差动齿轮变速箱的锥齿轮，可采用热锻后冷精整或机加工的方法制造。汽车轮毂毛坯也同样适合采用锻造方法制造。各种轴承环毛坯和紧固件行业的各类螺母毛坯也可由卧式多工位锻造设备热锻生产。这些锻件都是采用近净成形，根据最终零件的技术要求，可能还需一些后续工序，如机加工、压印或螺纹加工。

1. 汽车行业

超过一半的汽车锻件可以使用卧式多工位热锻设备生产，包括发动机、悬挂系统和传动系统中的关键承载零件，如：凸轮块、法兰轴套、转向联轴器、锥齿轮、法兰接头、十字轴、三销轴、星形套和钟形壳等，如图 1-5 所示。