



锻压技术理论 研究与实践

主编 华 林 夏汉关 庄武豪



武汉理工大学出版社

锻压技术理论与实践

华 林 夏汉关 庄武豪 主编

武汉理工大学出版社

· 武 汉 ·

内 容 简 介

本书收录了胡亚民教授的学生及好友的七十一篇有关锻压技术理论研究及成形工艺、产品开发等方面的研究成果,从不同角度反映了当前我国锻压技术的理论研究和生产实践的最新动态,既有较高的理论深度,又有很强的实用性。本书对从事锻压技术研究和产品开发工作的科研院所技术人员、锻压企业技术及管理人員都具有较高的参考价值,对拓宽我国锻压技术人员的科研视野和实践思路,提升锻压行业的自主创新能力,实现锻压行业产业转型升级目标具有很好的指导意义。

书中同时收录了胡亚民教授收集的部分文献、诗词、对联和工作生活照片,供从事锻压技术教学研究和生产实践的同行在工作之余欣赏。

图书在版编目(CIP)数据

锻压技术理论与实践/华林,夏汉关,庄武豪主编. —武汉:武汉理工大学出版社,2014.6
ISBN 978-7-5629-4430-0

I. ①锻… II. ①华… ②夏… ③庄… III. ①锻压 IV. ①TG31

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 118669 号

项目负责人:王兆国

责任编辑:万三宝

责任校对:希文

装帧设计:许伶俐

出版发行:武汉理工大学出版社

地 址:武汉市洪山区珞狮路 122 号

邮 编:430070

网 址:<http://www.techbook.com.cn>

经 销:各地新华书店

印 刷:武汉兴德林工贸有限公司

开 本:880×1230 1/16

印 张:32.75

字 数:1024 千字

版 次:2014 年 6 月第 1 版

印 次:2014 年 6 月第 1 次印刷

定 价:120.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请向出版社发行部调换。

本社购书热线:027-87515778 87515848 87785758 87165708(传真)

· 版权所有,盗版必究 ·

序

当前,我国正处于产业转型升级的关键时期,节能减排和提高劳动生产率成为行业发展的重要追求。随着制造业,特别是汽车、电子电气以及信息产业等的发展,我国已成为世界第一锻压加工大国,在基础技术、关键工艺技术、模具技术等方面都打下了坚实的基础,但锻压技术与发达工业国家相比仍有一定的差距,与精密化、数字化、高效化、轻量化、低消耗的产业转型升级目标要求还有较大距离。

胡亚民教授作为我国锻压行业的资深专家,从事锻压技术的教学、研究和生产实践数十年,不论是在生活条件艰苦、工作环境简陋的工厂,还是在条件优越的高校讲台上,他都始终如一,严格要求自己,不计个人得失,致力于推进我国锻压技术的科技进步,致力于推进我国锻压行业的人才培养。他在我国摆辗、辊锻、精冲、环件辗压和径向锻造等锻压成形技术领域具有较高的专业造诣和丰富的科研和实践经验。其中,“终锻辊锻机及其工艺”项目获1978年全国科学大会奖,“汽车摩托车齿轮类零件冷摆辗精密成形关键技术及应用”项目获2005年国家科学技术进步二等奖;中国锻压协会主持编写《锻压技术丛书》时,胡亚民教授担任《特种锻压》分册的主编,他还曾主编两本本科普通高等教育“十一五”国家级规划教材《锻造工艺过程及模具设计》和《摆动辗压工艺及模具设计》。如今他早已年过花甲,本可安度晚年,享受人生幸福,但他仍不忘我国锻压事业,不遗余力辛勤耕耘在教学、科研和生产一线,活跃在行业内的许多工厂,帮助企业解决生产中的技术难题,为发展我国的锻压事业奉献余热;他对知识锲而不舍、对事业执着追求、对工作一丝不苟的精神一直激励和影响着他的学生和他指导过的企业,他培养的学生许多已成为我国锻压界的一线技术骨干,他长期技术指导和合作的家乡企业江苏太平洋精锻科技股份有限公司已成为我国精密锻造行业的领军企业。

适逢胡亚民教授七十生辰之际,华林教授、夏汉关董事长等主编《锻压技术理论与实践》一书,以资纪念。该书收录了胡亚民教授的学生及好友的七十一篇锻压技术理论研究及成形工艺、产品开发等方面的研究成果,这些文章从不同角度反映了当前我国锻压技术的理论研究和生产实践最新动态,既有较高的理论深度,又有很强的实用性。该书对从事锻压技术研究和产品开发工作的科研院所技术人员、锻压企业技术管理人员及一线技术人员都具有较高的参考价值;对拓宽我国锻压技术领域的技术人员的科研视野和实践思路,提升锻压行业的自主创新能力,实现锻压行业的产业转型升级目标,具有很好的指导意义。

《锻压技术理论与实践》同时收录了胡亚民教授的部分文献、诗词、对联和工作生活照片,可供我们从事锻压技术教学研究和生产实践的同行在工作之余欣赏,陶冶情操,怡情养身。

中国锻压协会秘书长 张金
2013年12月

前 言

胡亚民老师七十岁了！他的身体还是那么健康，做研究、写论文的精神还是那么饱满，使我们年轻教师羡慕不已。

在我硕士刚毕业时，我们从武汉理工大学（当年叫武汉工学院）到兵器部重庆五九研究所（当年叫六二研究所）做锥齿轮粉末摆动辗压成形试验，那时胡老师是五九研究所的年青科研骨干。我们认识胡老师，不觉已近三十年矣！

在五九所做试验期间，胡老师亲自操作摆辗机，和我们一起分析问题、解决问题，使我们的试验顺利完成。

胡老师科研经历丰富，专业造诣高深，年纪也比我们大很多，但一点架子都没有。他非常关心学生，热情指导年青科研人员。他希望年轻人都能超过他，他为年轻人的每一项进步而感到高兴。他常说，只有青出于蓝而胜于蓝，社会才能进步，锻压事业才能发展。

1998年胡老师调到重庆工学院（现重庆理工大学）当教师，很快就进入角色。凭借他多年的科研和工程实践经验，他主讲的专业课《锻造工艺过程及模具设计》有声有色，让许多原来对锻压专业很不了解，以为“锻压”就是“打铁”，对“锻压”不感兴趣的同学，都爱上了锻压专业，并投身祖国的锻压事业。

胡老师还极力鼓励学生掌握更多的知识，鼓励他们攻读硕士、博士学位或出国深造。他的学生中，有的已经获得了博士学位，有的从海外学成归来，有的已是锻压界的知名教授和研究员级高工，有的成了工厂里的技术中坚，还有的自己创办了锻压企业。

三十年来，我们和胡老师一直在愉快地合作着，我们共同完成的“汽车摩托车齿轮类零件冷摆辗精密成形关键技术及应用”项目获得了国家科技进步二等奖。我们一起研究摆辗、辗锻、精冲、环件轧制、径向锻造等锻压成形技术；我们还一起在北京科技大学胡正寰院士的领导下撰写专著、手册，编写“十一五”国家级规划教材；我们今后还将继续开展锻压技术研究合作。

为了庆祝胡老师的七十生辰，我们特地将他的学生和好友的锻压理论与技术研究论文选辑成集，以资纪念。他的学生大多都活跃在锻压行业，这些文章对了解当前我国锻压理论研究和生产实践状况大有裨益。胡老师喜欢古诗，结交了许多诗人朋友，书后附录的资料是有关胡老师的一些文献、诗词、对联和照片。希望我们从事理工科研究的朋友们也能欣赏品味，在工作之余陶冶情操、怡情养性。

祝胡老师老当益壮，永远健康，阖家幸福！

华 林

2013年11月

目 录

第一部分 综述

- 我国高等院校摆动辗压技术研究动态 胡亚民,华林,韩星会,庄武豪/3
- 精密锻造成形技术在汽车齿轮行业的应用 夏汉关,董义,黄泽培/16
- 精锻齿坯与精锻齿轮现状和发展 夏汉关,朱正斌,董义/27
- Evaluation of Precision Forging and Forming Technologies Used in China to Produce Bevel Gears
XIA Han-guan,DONG Yi,LIU Jing-sheng,YANG Qi-hua/31
- 中国锥齿轮精密锻造成形技术的评估 夏汉关,董义,刘景升,杨岐华/31
- 机械行业标准《直齿锥齿轮精密冷锻件 技术条件》研制的必要性及技术概要 夏汉关,赵红军,黄泽培/45
- 技术规范《钢质精密热模锻件 通用技术条件》研制的必要性及技术概要/48
夏汉关,赵红军,陶立平,黄泽培/48
- 摆动辗压成形工艺研究现状及发展 罗征志,曹建,胡亚民/51
- 激光焊接技术在梅钢冷轧厂酸轧线中的应用 袁亮,池松贵/57
- 国外的多向模锻和分模模锻技术 李之海,李建/62
- 等温锻造技术的发展 张钰成,赖周艺,刘仲文,胡亚民/69
- 高速切削技术在模具制造中的应用 曹正明/74
- 汽车变速箱同步环精锻技术的发展 赵军华,刘洋,赖周艺/79
- 直齿锥齿轮精锻技术现状及其发展 赵军华,莫江涛,成国发,王耀祖/85
- 列车锻钢制动盘研究进展 付传锋/95
- H13 钢的应用现状 王鹏/100
- 汽车发电机爪极成形工艺现状及发展 成国发/109
- 分模锻造与多向模锻技术概况及应用 庄武豪,胡亚民,华林/115

第二部分 理论研究

- 数字化技术在齿轮精锻成形模具中的应用 夏汉关,王小乾,董义,狄雷,赵军华,黄飞/127
- Numerical Simulation of Blank-making Roll Forging Process for Heavy Automotive Front Axle
XIA Hua, GUO Xiao-long, JI Cheng-cheng/132
- 带环形槽的空心零件冲压冷锻成形工艺研究和实践 车路长/137
- 渐开线圆柱齿轮体积的算法研究 彭树杰,彭劭闻/150
- 35CrMnSi 高强度钢制弹体精密锻造成形工艺试验研究 伍太宾/155
- 预制坯对小型汽油机铝合金连杆体冷分模锻造成形影响的模拟研究 伍太宾,马斌,唐文平,张杰江/160
- 基于正交试验建立准确的前轴辊锻有限元模型 王孝文,庄武豪,刘艳雄,华林/167
- 基于遗传算法的某工程车挖掘装置机构优化设计 兰士新,陈进,韩军,陈高杰,李国芳/174
- 某型工程车伸缩式挖掘装置设计合理性分析 兰士新,陈进,李国芳,庞晓平,陈高杰/179
- Numerical Simulation and Experiment Analysis of MIG Welding for Aluminum Alloy Extrusions
LUO Zheng-zhi, PAN Yi-su /185
- Friction Behaviors in Cold Rotary Forging of 20CrMnTi Alloy Xinghui Han, Lin Hua/192
- 摆辗机摆头四种运动轨迹的模拟与分析 冯文成,姚万贵,邵长斌,袁红霞,胡亚民/208

Study on the Effects of Deformation Temperature on Microstructure and Mechanical Properties of AZ80 Magnesium Alloy LI Xu-bina, ZHANG Zhi-min/214

塑性变形对复杂铝黄铜零件耐磨性能影响的研究 李旭斌,张治民,李永鹏/218

Research on the Roller Feed Track During Spinning of Hollow Part with Triangle Cross-section LAI Zhou-yi, XIA Qin-xiang, HUANG Zheng, CHENG Xiu-quan/224

三边圆弧形横截面空心零件旋压成形应变网格实验 赖周艺,夏琴香,徐腾,程秀全/231

差厚拼焊板车门内板冲压成形焊缝移动数值模拟研究 龚小涛,杨帆,党杰,陆演/239

复杂异形环件毛坯优化设计方法研究 龚小涛,杨帆,郭红星/245

镁合金等温锻造加热装置的设计及模具温度曲线 付传锋,胡亚民,赖周艺,赵军华/250

Fabrication of Metallic Bipolar Plate for Proton Exchange Membrane Fuel Cells by Rubber Pad Forming LIU Yan-xiong, HUA Lin /255

Comparison Between Ultrasonic Vibration Assisted Upsetting and Conventional Upsetting Yan-xiong Liu, Sergey Suslov, Qingyou Han, Lin Hua, Clause Xu/267

纳米 Ni 颗粒对 Sn0.65Cu 亚共晶钎料润湿性和抗氧化性的影响 黄文超,甘贵生,唐明,王涛,曹明明/283

不同工艺参数对 GCr15 环件热轧-冷却微观组织演化的影响 周波/288

不同变形量下 GCr15 环件热轧-淬火微观组织研究 周波/303

凸模运动方式对铝合金连杆体冷分模锻造成形过程影响的模拟研究 伍太宾,马斌,张杰江/313

第三部分 产品开发与试验

轿车变速箱轴类件多工位冷精锻工艺及模具研究 徐伟,夏汉关,夏巨谔,胡国安,程俊伟,董义/323

非金属防弹头盔成形工艺及模具结构设计 夏华/328

后桥差速器行星锥齿轮精锻工艺性研究 李建平,车路长,赵志翔/331

伞齿轮分模成形模具设计及工艺研究 李建平,车路长/335

翼状零件精密冷挤压工艺及试验研究 李建平,车路长/341

镁合金射钉枪端盖等温体积成形试验研究 王昶,胡亚民,赖周艺/347

渐开线齿形面积算法在冷滚轧技术中的应用 彭树杰,伍小玫,彭劲闻/352

具有双螺旋齿面的差速齿轮冷摆辗成形工艺研究 伍太宾,顾峻勇/357

组合体缩口工艺及模具设计 聂兰启/366

多层凹模变薄拉深中变形量的合理分配 李成玉,聂兰启/370

氮气弹簧在冷冲模中的应用与设计计算 吴显兵/373

汽车车厢固定角铁的冲压成形 杨绍明/376

70 型汽车空调 AL6061 铝合金高压汽缸温挤压成形工艺 钱进浩/378

渐开线传动花键轴冷挤压成形工艺 钱进浩/381

冷温热结合新工艺成形汽车转向螺杆 钱进浩/384

6061 铝合金 LED 灯散热底座芯棒的温杯杆复合挤压成形 钱进浩/388

大尺寸变截面凸轮感应淬火缺陷的有效控制方法 陈文伟,潘晓松,曹昌怀/391

冷凝换热器支架冲压缺陷的防治 王诗标,唐秉水/396

介绍一种轮毂轴承单元的摆辗铆装技术 成国发,刘艳雄/400

大型齿轮座圈的辗扩成形技术研究 王浩,马欢,徐翠娟/404

某汽车零件注塑模设计及成形过程 CAE 分析 夏源,李聪/410

核电设备用钢 20MoNiMn 内部空洞愈合过程分析 王熠昕,黄文超/419

汽车万向节叉热挤压成形的数值模拟分析 王熠昕,权国政,黄文超/424

第四部分 其他

- 经济危急形势下企业的生存之道 夏汉关/431
- 股权收购风险分析与救济措施 颜井刚/432
- 四川省工业气体市场调查报告 袁亮/438
- 企业执行力的本质——领导力 赵和安/443
- 挤压生产线如何实现效益产能最大化 张绍平/451
- 中国移动公司竞争形势分析及应对措施 徐沛/456

附录

(一)有关胡亚民的文献/458

- 1)中国工程院院士、北京科技大学胡正寰教授为《锻造工艺过程及模具设计》(普通高等教育“十一五”国家级规划教材和 21 世纪全国应用型本科机械系列实用规划教材)作的序/458
- 2)2006 年 5 月中国锻压协会秘书长张金为《锻造工艺过程及模具设计》(普通高等教育“十一五”国家级规划教材和 21 世纪全国应用型本科机械系列实用规划教材)作的序/458
- 3)2007 年 12 月西安交通大学赵静远教授为《摆动辗压工艺及模具设计(第二版)》(普通高等教育“十一五”国家级规划教材)作的序/459
- 4)2007 年 10 月江苏省泰州职业技术学院党委书记刘富文为《摆动辗压工艺及模具设计(第二版)》(普通高等教育“十一五”国家级规划教材)作的序/460
- 5)2011 年 4 月 26 日泰州职业技术学院副院长郭冬梅在胡亚民奖学金颁奖大会上的讲话/461
- 6)2007 年 7 月 9 日《重庆工学院院报》第三版“铸造人生——访重庆工学院胡亚民教授”/462
- 7)胡亚民指导的研究生赖周艺获重庆工学院“胡亚民奖学金”/464

(二)有关胡亚民和胡亚民故乡的诗词、对联/465

1)关于胡亚民的父亲胡慕梅和《梅子集》/465

- 纪念胡公慕梅老先生入党七十周年 胡锦涛
- 拜读《梅子集》缅怀胡公 王荃文
- 纪念革命老人胡慕梅加入中国共产党七十周年 陆长旺
- 浪淘沙·缅怀胡公慕梅 盛祥鸿
- 想读《梅子集》 盛祥鸿
- 丁亥重阳拜谒革命前辈胡公慕梅墓 程祥福
- 庚寅清明革命先贤胡公慕梅入党七十周年祭 程祥福
- 清明纪念胡慕梅先生 汪耕林
- 八声甘州·缅怀革命先辈胡公慕梅入党七十周年祭 程祥福
- 青玉案·咏梅(词配图) 程祥福

2)关于胡亚民/467

- 谢池春——读《梅子集》寄呈亚民先生 王慕农
- 恭贺胡亚民教授 70 华诞——用胡亚民离校五十周年聚会韵 陆长啸
- 敬和胡亚民教授《七十吟》 王荃文
- 谢胡亚民教授癸巳新春贺岁 石南生
- 癸巳人日开笔致胡公亚民 王慕农
- 癸巳新春呈胡亚民先生 陈列
- 读《梅子集》致亚民君 陈列
- 贺胡亚民教授七十华诞(藏头诗) 王庆农

七律·亚民教授古稀纪庆(藏头诗) 王慕农
 念奴娇·贺亚民兄七十华诞 王锡武
 步亚民学兄《七十吟》原玉奉和·祝寿 程祥福
 步菴文先生和亚民《七十吟》 王锡武
 观照片感赋 童仁荣
 和胡亚民教授《忆晋祠旧游》 童仁荣
 与四十二年前同游晋祠人再留影 童仁荣
 蛇年中秋罗塘望月 童仁荣
 和《七十吟》 陈章巽
 贺乡贤胡亚民教授七秩双寿 丁秀兰 王菴文
 浣溪沙·谢亚民兄为吾祝寿赠诗 程祥福

3) 胡亚民习作/470

祝李老节之九十双庆
 见 62 年李老照片有感
 七十吟
 离溱潼中学五十周年聚会
 有感
 过沈阳
 浣溪沙四则·祝程公祥福七十大寿
 哭朱孝让老师
 哭表兄连科
 思泰吟
 2013 年国庆与友朋在武汉小聚
 喜读《九十吟》口占
 《锻压技术理论研究与实践》书成有感

4) 关于溱潼中学或其他/472

踏莎行·贺溱潼中学李节之老主任九十双寿 王庆农
 恭贺李节之老先生九十华诞(藏头诗) 王锡武
 谨步李节老《九十吟》原玉 钱存德
 哀悼朱孝让老师三首 王庆农
 问天·哭朱孝让先生 王锡武
 七律·五十年同学聚会献给母校溱中 程祥福
 恭贺王庆农吟长、储春红厂长贤伉俪古稀同庆 孙应生
 芳春师友聚溱湖:诗十二首(2012 年 4 月 8 日) 王庆农
 芳春师友聚溱湖:词四首(2012 年 4 月 8 日) 王庆农
 芳春师友聚溱湖:嵌名联十二副(2012 年 4 月 8 日) 王庆农
 长相思·读溱潼中学 62 届校友聚会录像光盘 王庆农
 欢看七贤雅聚浦江 王菴文
 读《为在美打工者写照亦感》 王庆农
 新栽枇杷树苗为溱潼亲友所赠 王庆农
 水调歌头·叠前韵,再说水云楼 王庆农
 步韵程祥福社长《七十试笔》 王庆农
 内子储春红七十生辰家宴戏咏 王庆农

- 贺晓平、黛文同学七十双寿暨红宝石婚庆 王庆农
- 奉和庆农先生“新栽枇杷树苗为溱潼亲友所赠” 法净道人
- 阅微翁——书法家纪增军先生 王锡武
- 仿庆农老师锡武学兄轱辘体呈谢恩师胡国安、彭腾华伉俪赠送光盘 程祥福
- 咏溱潼镇 马国征
- 溱潼鱼饼 顾思奇
- 溱湖日出 陈桂芝
- 早春湖道散步遇雨 程祥福
- 溱湖八景诗 沈秀东
- 行香子·溱湖中秋 沈秀东
- 水调歌头·忆溱潼故里水云楼 沈秀东
- 一剪梅·泛舟游喜鹊湖 葛永龙
- 沁园春·参观溱湖鹤仙岛公园别墅 夏正浔
- 与胡亚民公第二次见面后拜访太平洋夏总有感 童仁荣
- 忆江南·溱潼 袁平波
- 溱湖八景合韵 程祥福
- 溱湖八景之一“东观观渔” 顾思奇
- 祝贺赵友才、胡亚庭二兄《溱潼八说》面世 夏正浔
- 喜读《溱潼八说》编 王慕农
- 虞美人·贺《溱潼八说》付梓 程祥福
- 《溱潼八说》读后感 曹哲
- 为《溱潼八说》付梓而作 黄玉明
- 中秋溱潼储罐广场赏月 王俊录
- 满庭芳·溱潼水云楼复建 王苓文
- 春游溱潼镇湖北村 程祥福
- 溱潼古茶花树 朱培根
- 溱潼古山茶 韩泽
- 卜算子·溱潼小院山茶 盛铤
- 卜算子·老梅赞 曹哲
- 咏梅 王冰
- 溱潼会船 齐荣书
- 溱潼会船节 程祥福
- 看央视播放溱湖湿地 邢又清
- 临江仙·溱湖湿地公园 盛铤
- 溱潼人家 刘信
- 溱湖月色 齐荣书
- 溱湖春钓 齐荣书
- 溱湖三月 齐荣书
- 溱湖八鲜之簪蟹 王苓文
- 溱潼湖放舟 毛晓玉
- 溱湖早春 王海晨
- 溱湖秋宴 刘信
- 采桑子·溱湖好 顾思奇

忆江南·溱湖好 齐荣书

忆江南·溱湖风情 汪耕林

忆江南·溱湖美 王荃文

忆江南·溱湖美 钱存德

拟溱潼中石桥牌坊楹联 王庆农

溱潼水云楼楹联 王庆农

溱潼大学士码头楹联 王庆农

溱潼岳飞点将台楹联 王庆农

溱潼镇古利济桥楹联 王庆农

溱湖八景之西院庭槐楹联 王庆农

溱湖八景之北村莲社楹联 王庆农

溱湖湿地公园楹联 陈宜礼

溱潼镇古山茶、老槐树楹联 黄玉明

溱潼镇佛教楹联

胡亚民的老家周陈庄福田庵庙门对联(胡亚亭提供)

胡亚民记忆中儿时的两副对联

(三)有关图片/489

1)关于摆辗/489

2)关于辊锻/491

3)胡亚民及其师长、朋友和学生/492

4)胡亚民的故乡、家庭和个人成绩/497

跋一/501

跋二/502

跋三/504

跋四 莫道桑榆晚 为霞尚满天/506

跋五/508

第一部分 综 述

我国高等院校摆动辗压技术研究动态

胡亚民¹, 华林², 韩星会², 庄武豪²

(1. 重庆理工大学 材料科学与工程学院, 重庆 400050;

2. 武汉理工大学 汽车工程学院, 武汉 430070)

摘 要 文章介绍了我国高等院校在摆动辗压技术方面的研究动态, 包括汽车半轴、直齿锥齿轮、螺旋锥齿轮等的研究和摆辗设备的研制以及新型摆辗工艺——振动摆辗、多点摆辗、粉末摆辗等。

关键词 摆动辗压; 中国

A Review of Orbital Forming Process Research Trend in Chinese Colleges

HU Ya-min¹, HUA Lin², HAN Xing-hui², ZHUANG Wu-hao²

(1. School of Materials Science and Engineering. Chongqing University of Technology, Chongqing 400050, China;

2. School of Automotive Engineering. Wuhan University of Technology, Wuhan 430070, China)

Abstract The technology of orbital forming process research trends in Chinese colleges are fully introduced in this paper. The research of orbital forming process for the components such as automotive half-axis, spur bevel gears and spiral bevel gears are presented. The manufacture of orbital forming machines and the latest orbital forming process—vibration orbital forming, multi-point orbital forming and powder orbital forming are also introduced.

Key words orbital forming process; China

1 前言

摆动辗压技术是通过连续局部成形对被加工件实现整体成形的回转成形加工技术, 自 20 世纪 60 年代以来, 受到不少国家的重视^[1-7]。摆动辗压技术可以实现绿色生产, 实现近净形加工, 具有省力(完成同样成形所需的力大致是传统锻压设备的 1/10~1/5。)、冲击小、振动小、噪声低、金属容易充填模腔、设备小、投资少、占地面积少、模具寿命高、产品尺寸精度可达 0.02 mm、粗糙度 Ra 达 0.4~0.8 μm 、易实现机械化和自动化等优点。它节能、节材、节省投资, 扩大了塑性加工范围, 在机械制造、汽车等许多工业部门得到了广泛应用。它与传统切削工艺方法相比, 一般可节材 30% 左右, 降低制造成本 25% 左右。因为模具与坯料间的接触面积小, 金属容易流动, 加之模具与坯料表面间的摩擦可能由滑动摩擦变为滚动摩擦, 摩擦系数大大降低, 因而摆动辗压工艺最适宜齿形零件成形和带薄法兰件的轴类零件的薄法兰部位成形。国内外生产的摆辗成形件如图 1~图 4 所示。图 4 是我国郑州亚泰精锻公司的冷摆辗件照片。由图可见, 国外能生产的摆辗成形件中国基本上都能生产, 而我国摆辗生产的带枝丫端面齿轮和螺旋锥齿轮(见图 4 和图 10 左)未见国外有相关报道^[8,9]。

对于碳素钢、不锈钢、轴承钢、工具钢、18CrMnTi、20CrNiMo 以及大多数有色金属等, 可以进行冷摆动辗压加工。摆辗还可进行热辗和温辗, 原则上适合各种塑性材料加工。

摆动辗压机结构复杂, 对刚度要求高, 这是由于它要实现复杂的摆动运动, 偏心受载。

国内关于摆动辗压的理论研究与生产实践基本上与日本、瑞士同步^[1,2,4-8]。



图1 波兰生产的冷摆辗成形件



图2 瑞士生产的冷摆辗成形件

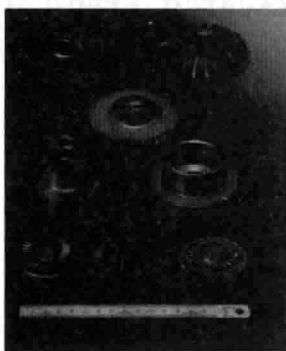


图3 日本生产的冷摆辗成形件



图4 中国郑州亚泰公司生产的冷摆辗成形件

20 世纪 70 年代初,上海机械制造工艺研究所和武汉汽车齿轮厂等单位先后研制出小型摆辗机,并开始工业应用。上海电机锻压厂利用研制的 1600 kN 摆动辗压机辗压生产汽车半轴。

哈尔滨工业大学和哈尔滨齿轮厂、清华大学和北京工具厂、上海机械制造工艺研究所和上海新华轴承厂以及天津锻压厂、北京第二汽车厂等不少单位开展了摆动辗压机试制和工艺应用研究。

中国兵器工业第五九研究所随上海机械制造工艺研究所引进波兰摆动辗压机后,在 1984 年引进波兰 PXWP-100C 摆动辗压机,着手研究摆动辗压机的传动原理、结构及零部件,设计制造了 6300 kN 摆动辗压机,主要为了冷摆动辗压成形大型汽车同步环、大型被动螺旋锥齿轮、兵器零件及其他产品。1994 年投料制作,是我国第一次涉足制造具有四种运动轨迹的摆动辗压机。

1984 年至 1997 年,中国兵器工业第五九研究所^①(以下简称“五九所”)承担了“启动齿轮端面齿形的冷摆辗成形研究”、“端面凸轮的冷摆辗成形研究”、“JH70 型摩托车启动齿轮、启动棘轮深端面齿形摆辗成形研究”、“轴向齿圈的冷摆动辗压成形工艺研究”和“可燃底板冷摆辗成形工艺及设备的研究”等部级科研项目,在波兰摆动辗压机上开发生产了多种产品^[8,10],其中摩托车端面齿轮和棘轮摆辗件代替进口件,得到建设厂和嘉陵厂的高度评价。五九所累计生产端面齿轮和棘轮等摆辗成形件 1000 多万件,在国内开创了冷摆动辗压技术工程化应用的先河。

2 齿轮类零件冷摆辗关键技术获国家科技进步奖

1986 年 12 月,兵器部在五九所举行“启动齿轮端面齿形的冷摆辗成形研究”鉴定会,武汉工学院^②(现武汉理工大学)院长姜奎华教授亲临重庆主持了该鉴定会。图 5(a)是姜院长和与会锻压界

^① 武汉工学院,最早于 1958 年创建,1995 年更名为武汉汽车工业大学,2000 年与武汉工业大学,武汉交通科技大学合并组建为武汉理工大学。

^② 五九所,于 1989 年由原兵器部五四所(腐蚀防护与包装研究所,1964 年创建)和六二所(金属精密成形研究所,1963 年创建)迁建合并而成。

知名专家学者、哈尔滨工业大学裴兴华教授等人,参观五九所(当时叫六二研究所)的波兰 PXWP-100C 摆辗机生产 CY80 型摩托车启动齿轮现场。鉴定会一致认为如图 5(b)所示的 CY80 型摩托车启动齿轮摆辗件的冷摆辗取得成功,达到国际先进水平,并对五九所国内第一家对摆辗时摆辗件内部温度场的变化进行了测量^[11]和国内第一家应用光塑性法研究摆辗变形时摆辗件的金属流动作了高度评价^[12]。



图 5 1986 年姜奎华院长和裴兴华教授等专家学者参观波兰 PXWP-100C 摆辗机生产现场和所生产的 CY80 型摩托车启动齿轮

武汉工学院和六二研究所(现五九所)共同进行摆动辗压技术方面的研究和产品开发工作,武汉工学院的教授和研究生经常往返于武汉和重庆之间,与五九所的研究人员一起在波兰的 PXWP-100 C 摆辗机上做试验,一起做设计、写文章、编著书籍,留下不少佳话和故事^[13-20]。

1991 年,哈尔滨工业大学、武汉工学院与五九所合作编著《摆动辗压》^[2],这是国内第一本关于摆动辗压技术的专著。1994 年武汉汽车工业大学(现武汉理工大学)与五九所共同编著《回转塑性成形工艺及模具》^[14],摆动辗压是其中的重要章节之一;1998 年双方合作编写《摆辗技术》^[13]。

台湾 1996 年购进一台波兰 PXW-200 型摆辗机,1996 年 12 月曾派人到五九所和武汉汽车工业大学考察摆动辗压^[18,19]。

粉末摆辗是对粉末冶金烧结体用摆动辗压机代替传统锻造设备成形,从而获得高密度、高强度的零件。武汉工学院 1988 年对直齿锥齿轮粉末温摆辗成形进行科学研究和产品开发,图 6 所示是他们温摆辗成形的直齿锥齿轮和所使用的粉末冶金烧结体坯料^[20]。由于摆动辗压成形时单位挤压力高,粉末件材料易于流动,容易提高摆动辗压成形件的密度和密度的均匀性,从而大大提高了抗拉强度。

国内外有工厂生产粉末冶金螺旋锥齿轮和直齿锥齿轮、圆柱齿轮、凸轮、螺母以及套筒、环等零件^[21],如采用摆动辗压,成形力只需传统锻压设备的 1/5,而密度大大超过传统锻压设备锻造的粉末件,达 7.8 g/cm^3 。国内开发的部分粉末冶金冷摆辗成形件,见图 7 所示。

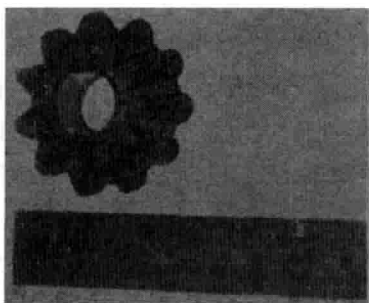


图 6 武汉理工大学研制的温摆辗直齿锥齿轮和粉末冶金件坯料



图 7 国内开发的粉末冶金冷摆辗成形件

1986 年国内开发成功第一个粉末冶金摆辗产品——双金属减摩轴承零件(YB351 叶片泵配油

盘),1988 年申报专利成功,1991 年列为国家级火炬计划项目和北京市重大科技成果推广项目^[21]。粉末冶金摆辗成形能生产难以加工制造的特种复合金属材料及轴承,烧结铜合金材料的相对密度在 98% 以上,大大超过了原来的 93%~97%,成熟应用在液压油泵上。

先在无缝钢管内壁烧结铜合金,再采用径向摆辗机将烧结上的铜合金衬层致密化,达到相对密度超过 98%。新工艺制造的双金属轴套为整圆,无接缝,刚度好,保持精度好,便于在自动生产线上自动化装配;生产效率高,完成一支轴套平均工时不到 3 s。主要设备只需 2~3 台套、占地面积小,钢和铜合金的利用率接近 100%,制造成本低。可取代 GB/T18324—2001 铜合金整体轴套中直径 100 mm~220 mm 或更大尺寸的整体铸铜轴套。

采用对双金属板卷制轴套后再摆辗成形法兰部位,效果很好。铜合金和钢材利用率达 100%。摆辗成形的双金属整圆止推轴套见图 8。它完全取代了原采用的由烧结双金属止推环与卷制的套筒摩擦对焊所制造的止推轴套。

武汉工学院一直坚持摆动辗压技术的研究。1989 年,在武汉工学院学报上发表论文《摆头运动分析和最佳进给量的确定》^[16]。2003 年,在《锻压技术》第 4 期上发表论文《摆动辗压接触面积率的精确计算及简化表达》^[17]。

2004 年,以武汉理工大学华林教授为首的课题组的“汽车齿轮冷摆辗精密成形技术”项目获湖北省科技进步一等奖,“汽车摩托车齿轮类零件冷摆辗精密成形关键技术及应用”项目获 2005 年国家科技进步二等奖^[22],合作单位还有湖北车桥有限公司、江苏太平洋精密锻造有限公司、昆山精密模具导向件公司、五九所和重庆理工大学。

江苏太平洋精密锻造有限公司有瑞士 SCHMID 公司产摆辗机 3 台。他们建厂初期的摆辗项目立项和生产技术是在中国兵器工业第五九研究所的支持下进行的。该公司在摆辗复合精密成形技术应用和开发领域取得了重大技术突破,许多科技成果已在该公司转化为现实生产力。2008 年该公司销售摆辗复合精密成形齿轮 1500 多万件。

图 9 所示是江苏太平洋精密锻造有限公司生产的汽车差速器半轴锥齿轮。

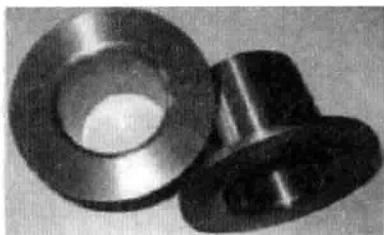


图 8 双金属整圆止推轴套



图 9 江苏太平洋精锻公司生产的汽车差速器半轴锥齿轮

1990 年,结合江苏太平洋精密锻造有限公司的有关无链条自行车直齿锥齿轮的项目,五九所和吉林工业大学联合培养了一名硕士研究生^[19]。

3 摆动辗压技术的工艺研究

清华大学在 20 世纪 80 年代就将研究摆动辗压过程中的“中心拉薄”现象作为硕士生的选题^[23],1999 年,哈尔滨工业大学对其进行有限元分析^[24],采用三维刚塑性有限元法对圆盘件的摆动辗压过程进行数值模拟,针对具体算例进行了圆盘件摆辗中心变薄缺陷的预测,并且对所提出的缺陷防止办法进行了数值模拟,说明了采用有限元方法进行圆盘件摆动辗压工艺缺陷预报可行,所提出的工艺优化方案改善了工件的受力条件,可避免工件中心变薄。

江西理工大学 2004 年开始进行摆动辗压成形过程有限元模拟研究^[25],2007 年进行了摆动辗压成形工艺 CAD 系统的研制^[26],他们以节油器内花键套为对象,建立了预制坯的体积计算模型及其结构设计模型,确立了摆动模的设计模型和凹模的力学分析模型,给出了摆辗工艺参数和力能参数的设计模型。在此基础上对摆辗成形工艺 CAD 系统进行了结构分析和功能分析,实现了预制坯、摆辗模具和摆辗参数的计算机辅助设计,提高了设计效率,使废品率下降,得到了令人满意的设计结果。