



# 精密锻造技术 研究与应用



中国机械工程学会塑性工程分会精密锻造专业委员会 编

主 编 蒋 鹏 夏汉关

参 编 贺小毛 董 义



# 精密锻造技术研究与应用

中国机械工程学会塑性工程分会精密锻造专业委员会 编

主 编 蒋 鹏 夏汉关

参 编 贺小毛 董 义



机械工业出版社

本书为第6届全国精密锻造学术研讨会论文集。全书共分为六个部分：第一部分为综述，主要介绍了近年来国内精密锻造技术的发展现状、存在问题以及今后的发展方向；第二部分为热精锻技术，介绍了一些零件的热精锻工艺设计、基于有限元和正交实验的工艺优化方法以及铝合金锻件新工艺的设计；第三部分为冷温锻技术，介绍了齿轮旋锻成形工艺，结合了齿轮温锻工艺以及铝合金尾翼冷挤压工艺研究等新工艺；第四部分为精密锻造模具技术，利用有限元模拟分析了在锻造过程中模具磨损、模具结构参数对模具寿命的影响，以及工艺调试过程中的修模技术；第五部分为精密锻件的组织性能与质量控制；第六部分为精密锻造装备与自动化技术，介绍了锻造设备的研究新成果和数字化车间的相关技术。

本书可供金属塑性加工领域的工程技术人员和对金属塑性成形有兴趣的技术人员参考。

### 图书在版编目 (CIP) 数据

精密锻造技术研究与应用/蒋鹏, 夏汉关主编; 中国机械工程学会塑性工程分会精密锻造专业委员会编. —北京: 机械工业出版社, 2016.5

ISBN 978-7-111-53629-1

I. ①精… II. ①蒋… ②夏… ③中… III. ①精密锻造—学术会议—文集  
IV. ①TG316-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 085880 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: 周国萍 责任编辑: 周国萍 杨明远 舒雯

责任校对: 肖琳 封面设计: 马精明

责任印制: 李洋

北京振兴源印务有限公司印刷

2016年6月第1版第1次印刷

184mm×260mm·16.5印张·385千字

标准书号: ISBN 978-7-111-53629-1

定价: 79.00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](http://www.cmpbook.com)

读者购书热线: 010-68326294

机工官博: [weibo.com/cmp1952](http://weibo.com/cmp1952)

010-88379203

金书网: [www.golden-book.com](http://www.golden-book.com)

封面防伪标均为盗版

教育服务网: [www.cmpedu.com](http://www.cmpedu.com)

# 江苏太平洋精锻科技股份有限公司简介

江苏太平洋精锻科技股份有限公司是一家专业从事汽车精锻齿轮及其精密锻件研发、生产与销售的国家火炬计划重点高新技术企业，2011年8月26日在深交所创业板上市，股票名称：精锻科技，股票代码：300258。

公司具有较强的自主研发创新能力，掌握了汽车齿轮近净成形模具设计制造和冷温热精密锻造成形技术与工艺，核心技术拥有完全自主知识产权。公司建有国家级企业技术中心、博士后科研工作站、工程实践教育中心、江苏省近净成形用长寿命模具设计工程技术研究中心和江苏省塑性成形与高精度模具设计制造工程中心，与华中科技大学、上海交通大学、武汉理工大学、机械科学研究总院等建有长期紧密的产学研合作关系。公司现拥有授权专利83件，其中PCT国际发明专利4件、国家发明专利24件、实用新型专利55件。多项研究成果获国家、省(部)级科技进步奖，其中作为第二完成单位完成的“汽车摩托车齿轮类零件冷摆辗精密成形关键技术及应用、多工位精锻技术及其装备的研发与应用”项目分别获2005年度国家科技进步奖二等奖、2014年度中国机械工业科学技术奖一等奖；独立完成的“轿车齿轮净成形工艺与模具制造关键技术及应用、双离合器变速器齿轮冷温精密近净成形制造技术开发与应用”项目分别获2010年度江苏省科学技术奖一等奖、2015年度江苏省科学技术奖二等奖。产品多次荣获齿轮行业优秀新产品特等奖、一等奖，中国锻压协会优质锻件一等奖等。公司获2010年度江苏省企业质量奖、2014年度江苏省企业技术创新奖、2015年度江苏省创新示范企业、中国齿轮行业协会“50强最具品牌影响力企业”。公司科协被中国科协、发改委、科技部和国资委联合表彰为2011-2012年度“讲理想、比贡献”活动先进集体。

公司产品得到了国内外领先水平整车制造商或其动力总成供应商的高度认可，进入了GKN、MAGNA、VW、GM、GETRAG、AAM、DANA和John Deere等著名企业的全球采购体系，是一家同时与大众、通用、福特、丰田、宝马、奔驰等汽车公司众多车型配套精锻齿轮的企业。

## 编辑委员会

陆 辛	夏巨谔	徐祥龙	王以华
郭 成	蒋 鹏	夏汉关	李 军
王新云	赵 震	王 欣	钟志平
成希锋	陈文琳	徐戊矫	张宝红
李洪波	郑光文	许 强	程 明
孙红星	张长龙	李 峰	樊晓光
张海英	郑英俊	王华君	陶善虎
孙 勇	曹 飞	贺小毛	董 义

## 第 11 届精密锻造专业委员会组成人员

顾问	夏巨谌	王以华	徐祥龙	郭成
主任委员	蒋鹏	北京机电研究所		
副主任委员	李军	河北地质大学		
	夏汉关	江苏太平洋精锻科技股份有限公司		
	赵震	上海交通大学		
	王新云	华中科技大学		
	王欣	苏州汉金模具技术有限公司		
委员（秘书）	曹飞	北京机电研究所		
委员	李淼泉	西北工业大学		
	徐成林	中国第一汽车集团公司技术中心		
	张宝红	中北大学		
	陈文琳	合肥工业大学		
	李洪波	燕山大学		
	钟志平	精密成形国家工程研究中心		
	车路长	中国兵器工业第五九研究所		
	寇淑清	吉林大学		
	徐戊矫	重庆大学		
	韩鹏彪	河北科技大学		
	许强	机械工业第一设计研究院		
	吴玉坚	东风锻造有限公司		
	张如华	南昌大学		
	王广春	山东大学		
	黄廷波	江苏飞船股份有限公司		
	宋继顺	天津理工大学		
	吴顺达	中国锻压协会		
	郑光文	安徽工业大学		
	孟宪举	山东建筑大学		
	程明	中国科学院金属研究所		
	施卫兵	江苏森威精锻有限公司		
	郝占湖	中煤张家口煤矿机械有限责任公司		
	孙红星	郑州机械研究所		

张长龙 中机锻压江苏股份公司  
张海英 上海汽车变速器有限公司  
成希锋 中国重汽济南铸锻中心  
李 峰 哈尔滨理工大学  
臧顺来 西安交通大学  
袁 林 哈尔滨工业大学  
韩星会 武汉理工大学  
樊晓光 西北工业大学  
郑英俊 太仓久信精密模具有限公司  
王广斌 天津市天锻压力机有限公司

# 前 言

中国机械工程学会塑性工程分会精密锻造专业委员会是 2000 年由原来的锻压学会热锻和冷锻两个学术委员会合并建立的，当时名为精密锻造学术委员会。委员会成立后大约两三年召开一次全国精密锻造学术研讨会，到目前为止已经举办过五届：第 1 届 2001 年 11 月 25-26 日在江苏南京召开，第 2 届 2005 年 7 月 24—29 日在山西太原与第 9 届全国锻压学术年会同时以单设分会场的形式召开，第 3 届 2008 年 12 月 3—5 日在江苏盐城召开，第 4 届 2010 年 6 月 26—28 日在湖北武汉召开，第 5 届 2013 年 3 月 23—25 日在山东济南召开。根据 2016 年中国机械工程学会工作计划，经与江苏太平洋精锻科技有限公司协商，并报请塑性工程分会秘书处同意，第 6 届全国精密锻造学术研讨会即将于 2016 年 6 月在江苏泰州召开。

本次会议论文征集涵盖以下范围：热锻、冷锻与温锻的有关研究，包括有限元模拟技术、新技术的开发与应用、各种典型零件的成形工艺；模具的设计、制造技术，以及模具寿命、模具新材料的研究；精密锻造设备与自动化技术应用等领域。在秘书处的积极努力和各位作者特别是本届精密锻造专业委员会各位委员的大力支持下，征文工作得以顺利完成，展现在大家面前的这本书就是本次会议的论文集。

本书集中收录了 34 个单位 130 多位作者的 43 篇论文（含国外合作作者），内容较为丰富，包括了精密锻造技术的一些综合评述、热精锻和冷温锻技术的研究与开发、精密锻造模具技术、精密锻造件的组织性能和质量控制、精密锻造装备与自动化技术等精密锻造的主要技术领域，是我国近期精密锻造技术研究与应用成果的一次集中展示。

由于时间仓促，本书中也可能存在一些疏漏与错误之处，敬请各位同行批评指正，我们会认真总结经验，吸取教训，接受批评，争取下次做得更好。对于本次出现的问题，也请各位读者给予理解和谅解。将精密锻造学术研讨会论文集正式出版成书是第一次尝试，效果如何，我们也会倾听各方面意见，在下一次会议时再加以改进或改变。

本书由蒋鹏、夏汉关任主编，贺小毛、董义任参编。以第 11 届精密锻造专业委员会委员为主的编辑委员会是本书收录论文的主要撰稿者，本届精密锻造专业委员会委员兼秘书曹飞研究员、江苏太平洋精锻科技股份有限公司田海燕主任、王耀祖科长为会议筹办和本书的出版做出了贡献。

特别感谢江苏太平洋精锻科技股份有限公司，作为第六届全国精密锻造学术研讨会的联合举办单位不仅承担了繁复的会务工作，还为本书的出版提供了经费支持。

我们期望第 6 届全国精密锻造学术研讨会能够取得圆满成功，更希望会议的举办和本书的出版能够对国内精密锻造技术的发展起到促进作用。

编 者

2016 年 6 月



# 目 录

## 前言

### 一、综述

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 陶立平	1
锻造行业执行《中国制造 2025》的总体思路和几点建议	夏巨谔 王新云 张运军	12
锻造自动化对工艺和压力机的技术要求	徐祥龙	19
近年来机电所锻造技术的若干研究事例	蒋鹏 曹飞 贺小毛	28
精锻数值模拟的材料流变应力建模技术	曾凡 胡成亮 赵震	35
铝合金锻造成形工艺与设备	张长龙 孙国强	43

### 二、热精锻技术

汽车轮毂闭式无飞边热锻成形工艺研究	刘维坊 代合平 翟月雯 田钰清 边翊	48
基于正交实验的 RV 减速器输出盘锻造工艺优化	刘守生 吴珩 王雷刚 常国其	55
压料油缸的闭塞精密热挤压成形工艺研究	叶星辉 郑光文 白凤梅 张军军	62
汽车连杆成形工艺的数值模拟分析	崔双斌 王阳	67
Ti3Al 基合金高温变形实验及其气胀成形的数值模拟	梁培新 翟月雯 刘桂华 金飞翔 王会珍 钟志平	70
推力杆分步锻造工艺设计及有限元模拟	贺小毛 蒋鹏 成希锋 武强	75
汽车转向活塞多向可控分流锻造工艺及试验研究	孙红星 汪金宝 刘百宣 刘华	81
基于 AFDEX 的三通阀体挤压成形数值模拟及工艺试验研究	赵恒良 翟月雯 师博 王伟 钟志平	86
5A06 铝合金微槽道薄板件等温振动辅助成形研究	周旋 邓磊 金俊松 王新云	92
大型铝合金壳体缩比件超塑气胀成形模拟及实验	李志强 陆文林 王勇	98
某型号前轴工字梁辊锻成形工艺设计	王梁 陈文琳 陈力	104

### 三、冷温锻技术

圆柱齿轮径向旋锻成形有限元分析	姜宏伟 周福见 李峰	110
某整体式结合齿精锻件温锻工艺模拟及实践	郑英俊 张海英 章立预	116
铝合金尾翼冷挤压成形研究	张宝红 李大旭 李慧娟 曹小娴	121
厚轮缘盘形件多工步旋压增厚成形工艺	苏雪冬 金俊松 王新云 邓磊 龚攀	125
基于 QForm 的紧固件工艺优化	Nick Biba Sergey Stebunov 刘寒龙 崔启玉	132

### 四、精密锻造模具技术

碳化钨覆层模具在冷挤压中的温度场与磨损	王华君 周小光 李秋 王华昌	138
工况条件对 H13/40Cr 摩擦副摩擦磨损性能和磨损机理的影响	徐戊娇 马欣 刘承尚	144

模具温度场对钛合金大件等温局部加载成形组织演变的影响研究	雷珍妮 樊晓光 孟森	151
销轨预锻模阻力坎结构参数的优化设计	杨勇 汪非 蒋鹏 余光中 任学平	160
立体分模曲轴机加工碰刀干涉锻造工艺改进	成希锋 李建祖 张振水 吴万心 刘文新 赵春霞	166
凸轮轴楔横轧工艺工装调试	薛飞 成希锋 吴万心	170

## 五、精密锻件组织性能与质量控制

GH4169 合金叶片锻造过程的组织预测	程明 叶能永 刘敏 张士宏	175
倒档棘轮渗碳过程的组织和残余应力的变化	孙博 王华君 张太良 谢冰 丁力 张扣宝	183
挤压件表面粗糙度的试验研究及预测	李洪波 吕玫 宋小磊	188
淬火温度对 20CrMnTiH 钢渗碳淬火后组织与残余应力的影响	陶善虎	196
成形角对楔横轧件心部质量的影响	牛彤 陈文琳 吉宏选 刘燕波	203
楔横轧调试常见缺陷分析及解决办法	曾健 徐春国 任伟伟	207
一种快速检测曲轴毛坯角度直线度检具设计	吴万心 成希锋 薛飞 张兆伟	212

## 六、精密锻造装备与自动化技术

摆辗机摆头运动轨迹及规律分析	冯文成 姚万贵 蒋鹏	216
12500kN 冷锻压力机振源及减振分析	葛敏 李江国 李海涛 陈贺静	222
250mm 伺服驱动辊锻机机架刚度与强度的有限元分析	侯惠敏 谷泽林 陈杰鹏 蒋鹏 孙国强	228
数字化锻造车间 MES 系统的研究与开发	苏子宁 孙勇 蒋鹏	233
锻造自动搬运装置控制系统设计探讨	丁宵月 李红	241
锻造自动喷雾润滑装置探讨	陈宪明 李卓	245
锻造设备中电动机的预知性维护	孙勇 宫欣伟 蒋鹏 张中琳 朱明亮 郑忱	248
管坯扩口新装置	陈欢 陈琦 陈德龙 王以华	251
单位索引		254

# 一、综述

## 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 陶立平

(江苏太平洋精锻科技股份有限公司 江苏泰州 225500)

**摘要:** 本文综述了目前国际上先进的精锻成形技术在汽车齿轮行业的应用。

**关键词:** 精密锻造; 汽车齿轮; 应用

长期以来,我国汽车齿轮锻件毛坯大多采用普通热锻的工艺生产。这类锻件毛坯通常形状简单,机加工余量大,材料利用率不高,齿轮制造主要采用机械切削方法加工。汽车工业发达国家从20世纪80年代开始广泛应用精密锻造成形技术,随着我国汽车工业发展的需要,我国汽车齿轮行业在20世纪90年代也逐步应用这种新技术。江苏太平洋精锻科技股份有限公司在这方面做了大量的开拓性研究和开发工作,取得了一系列的专利技术和商业应用成果。本文主要就精密锻造成形技术在汽车齿轮行业的应用进行综合论述。

### 1 汽车差速器直齿锥齿轮的精密锻造

汽车差速器直齿锥齿轮用于汽车差速器总成,在差速器中起改变速比传递扭矩的作用和防止汽车转弯时车轮产生滑脱。用于不同的车型对齿轮精度的要求也不一样,通常商用车齿轮要达到GB/T 11365—1989的8~10级精度,乘用车齿轮则要达到7~9级精度。对于9~10级精度的齿轮,采用热精锻工艺就可满足精度要求;而高于8级精度的齿轮,直接用热锻的工艺则难以达到精度要求。目前先进的锻造工艺有两种:①冷精锻直接成形;②热锻或温锻预成形+冷精整成形。具体采用何种精锻工艺成形,要根据齿轮的形状、尺寸大小和齿形参数确定。

精锻直齿锥齿轮与切削加工的直齿锥齿轮相比,显示出精锻成形的技术优点。它在产品形状和结构上可以改进设计,如齿间可设计成后端面封闭结构,这样可大大提高齿轮的疲劳强度,前端面也可将以往机加工结构相配零件合并设计成一个整体结构,这方面GB/T 32253—2015《直齿锥齿轮精密热锻件结构设计规范》及GB/T 30569—2014《直齿锥齿轮精密冷锻件结构设计规范》已有详细介绍。根据瑞士SCHMID公司提供的德国VISTEON公司的研究资料表明,冷摆辗成形的锥齿轮其齿根弯曲应力是机加工齿轮齿根弯曲应力的1.4倍。2004年6月,江苏太平洋精锻科技股份有限公司为FORD CD4E项目开发的差速器行星齿轮和半轴齿轮根据Ford Motor Company“Corporate Engineering Test Procedure”(Cept: 07.01-L-311);“Supplier Testing Requirements For Initial Evaluations Cd4e Differential Gearset”要求进行疲劳寿命试验,经B10疲劳寿命计算,改进结构设计的冷精锻齿轮弯曲疲劳寿命是切削加工齿轮弯曲疲劳寿命的1.5倍。

此外,采用冷精锻工艺可以使防滑差速器行星齿轮和半轴齿轮改进设计为变齿厚变齿距

传动机构，并使批量生产成为可能。同时，防滑差速器半轴齿轮轴颈外花键可以在齿轮齿形精锻成形后采用冷挤压工艺成形外花键，端面带棘齿的直齿锥齿轮通过冷锻实现直齿锥齿和棘齿同时成形，这样可以最大限度地提高齿轮加工效率，便于齿轮结构的优化设计，如图 1 所示。

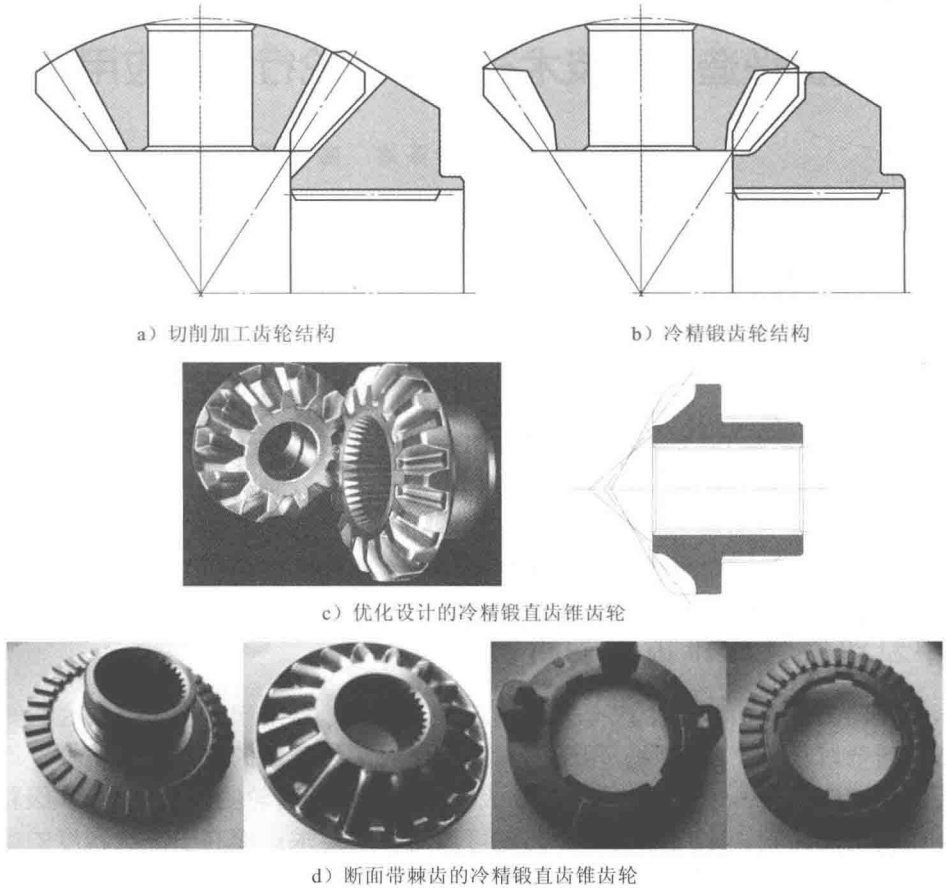


图 1 精密锻造齿形件

### 1.1 热精锻直齿锥齿轮

热精锻直齿锥齿轮图片如图 2 所示，加工工艺流程为：棒料切断→中频加热→热精锻→去飞边→正火处理→抛丸处理→切削加工→渗碳淬火、回火→磨削加工。一种热精锻直齿锥齿轮加工精度见表 1。

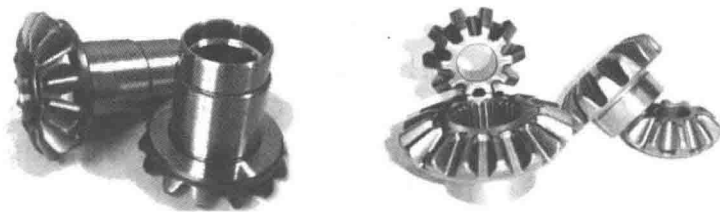


图 2 热精锻直齿锥齿轮

表 1 一种热精锻直齿锥齿轮加工精度 (端面模数  $m_{et}=7.65\text{mm}$ , 大端节圆直径  $d_e=\varphi 122\text{mm}$ )

测量项目	公称值	实测值
单个齿距偏差 $f_{pv}/\text{mm}$	$\pm 0.054$	+0.045
相邻齿距偏差 $f_u/\text{mm}$	0.071	0.052
齿距累积总偏差 $F_p/\text{mm}$	0.220	0.140
径向跳动 $F_r/\text{mm}$	0.145	0.08

## 1.2 冷精锻直齿锥齿轮

冷锻工艺流程为: 棒料切断→球化退火→制坯→磷皂化→冷锻成形→切削加工→渗碳淬火、回火→抛丸处理→切削加工(视产品需要)。表 2 为一种冷精锻直齿锥齿轮加工精度。

表 2 一种冷精锻直齿锥齿轮加工精度 (大端端面模数  $m_{et}=4.375\text{mm}$ , 大端节圆直径  $d_e=70\text{mm}$ )

测量项目	公称值	实测值
单个齿距偏差 $f_{pv}/\text{mm}$	$\pm 0.017$	+0.008
相邻齿距偏差 $f_u/\text{mm}$	0.022	0.015
齿距累积总偏差 $F_p/\text{mm}$	0.067	0.042
径向跳动 $F_r/\text{mm}$	0.045	0.025

## 1.3 热锻或温锻预成形+冷精整成形

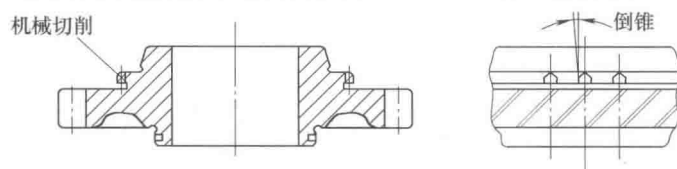
热锻或温锻预成形+冷精整成形工艺流程: 棒料切断→热锻或温锻成形→正火处理→抛丸处理→磷化处理→冷精整成形→切削加工→渗碳淬火、回火→抛丸处理→切削加工(视产品需要)。表 3 为一种热锻+冷精整形齿轮加工精度。

表 3 一种热锻+冷精整形直齿锥齿轮加工精度 (大端端面模数  $m_{et}=5.375\text{mm}$ , 大端节圆直径  $d_e=86\text{mm}$ )

测量项目	公称值	实测值
单个齿距偏差 $f_{pv}/\text{mm}$	$\pm 0.030$	+0.025
相邻齿距偏差 $f_u/\text{mm}$	0.039	0.022
齿距累积总偏差 $F_p/\text{mm}$	0.120	0.067
径向跳动 $F_r/\text{mm}$	0.067	0.035

## 2 汽车变速器接合齿轮的精密锻造

汽车变速器同步器接合齿轮的加工方法一般有四种, 如图 3 所示, a 是锻打无齿形齿坯再切削加工成形; b 是接合齿部位与主体分开加工, 以花键配合成形; c 是接合齿部位与主体分开加工, 以电子束焊接成形; d 是采用精锻工艺一体直接成形。



a) 锻打无齿形齿坯再切削加工成形

图 3 汽车变速器同步器接合齿轮的加工方法

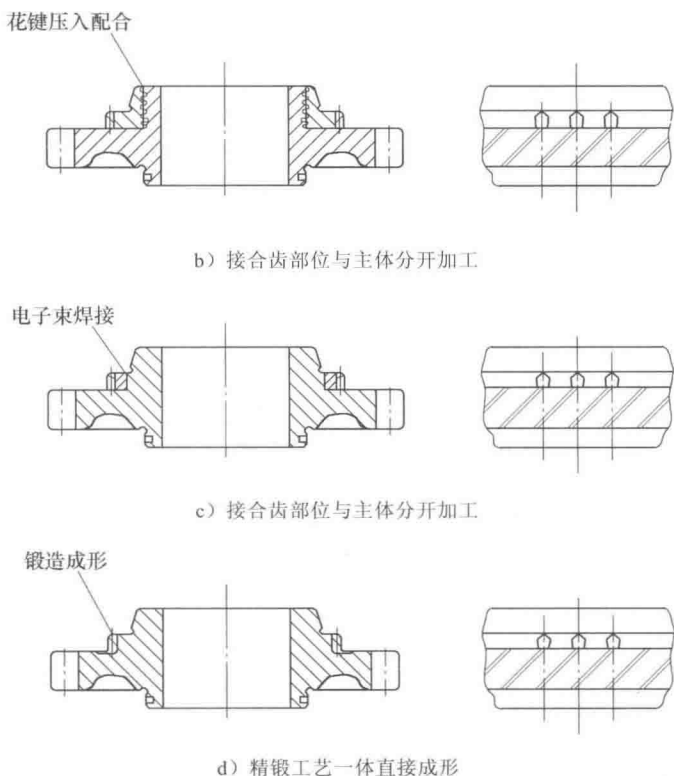


图3 汽车变速器同步器接合齿轮的加工方法(续)

上述以切削加工为主要手段生产的变速器接合齿轮，由于金属流线被切断，同时又受插齿工艺退刀槽及焊接质量的影响，齿部强度大大削减，常出现打齿、挂不上档的现象，是整车运行过程中严重的安全隐患之一。汽车变速器接合齿精锻一体成形，保持了金属流线的连续，取消了退刀槽，加大了齿部强度，提高了接合齿齿部的承载能力和抗冲击能力，同时大大提高了生产效率，降低了生产成本，接合齿端倒角中心的位置比机加工件更准确，锁止角尖点圆滑过渡，对称性好，减小挂档力，缩短换档时间，提高了变速器总成使用性能。采用精锻工艺一体直接成形接合齿工艺已成为汽车变速器接合齿轮制造的发展方向。

图4所示为汽车变速器同步器接合齿轮，其加工工艺为：棒料切断→热锻预成形→(冲)钻孔→无氧化等温正火→抛丸处理→磷化处理→冷精整直齿和锁止角成形→冷倒锥成形→切削加工→渗碳淬火、回火→抛丸处理→磨削加工。其加工精度见表4。

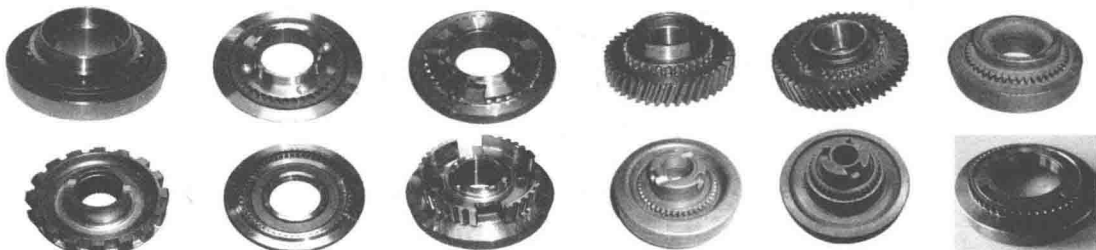


图4 汽车变速器同步器接合齿轮

表4 一种汽车变速器同步器接合齿轮加工精度 (模数  $m=2.1167\text{mm}$ , 齿数  $z=36$ )

测量项目	公称值	实测值
切线跨距长度 $W_K$ ( $K=7$ )/mm	40.567~40.667	40.60~40.64
跨棒距 $M_{Re}$ /mm	81.53~81.68	81.59~81.64
径向跳动 $F_r$ /mm	0.15	0.06
齿距累积总偏差 $F_p$ /mm	0.20	左 0.055~0.092
		右 0.055~0.086
倒锥角度 $\beta$	$4^\circ\pm 30'$	$4^\circ\pm 10'$
齿端锁止角 $\alpha/(\circ)$	$120\pm 2$	$120\pm 1$

### 3 汽车变速器接合齿环的精密锻造

汽车变速器接合齿环传统上采用切削加工的方法制造,目前较先进的制造工艺是采用精锻工艺加工,其优点是:①零件金属组织细密,晶粒细化,金属流线完整,表面硬度高,提高了疲劳强度;②降低了材料消耗,提高了材料利用率,比切削加工提高30%~50%;③制造场地干净,无铁屑和油污,减少污染,保护了环境。④齿轮精度可实现GB/T 3478—1995标准6~7级;⑤接合齿端锁止角尖顶圆滑过渡,对称性好,减小挂档力,缩短换档时间,提高了变速器总成使用性能;⑥可生产变齿距和单边减薄接合齿环,消除了汽车行驶中由于道路条件的改变造成变速器总成自动脱档的质量隐患。

接合齿环的精密锻造有两种工艺方法:①冷精锻成形;②温锻预成形+冷精整成形。具体选用何种工艺方法要根据零件的形状和齿形参数确定。

图5所示为汽车变速器接合齿环,其冷精锻成形工艺流程:棒料切断→辗环→球化退火→制坯→磷皂化→冷挤压成形锁止角→磷皂化→冷挤压倒锥→无氧化等温正火→机加工→渗碳淬火、回火→表面抛丸处理;其温锻预成形+冷精整成形工艺流程:棒料切断→温锻成形→等温正火→表面抛丸→磷皂化→精整成形锁止角→冷挤压倒锥→机加工→渗碳淬火、回火→表面抛丸处理。表5为一种汽车变速器接合齿环的加工精度。

表5 一种汽车变速器接合齿环的加工精度 (模数  $m=2\text{mm}$ , 齿数  $z=24$ )

测量项目	公称值	实测值
切线跨距长度 $W_K$ ( $K=4$ )/mm	22.225~22.35	22.27~22.31
径向跳动 $F_r$ /mm	0.08	0.04
齿距累积总偏差 $F_p$ /mm	0.13	0.042~0.075
倒锥角度 $\beta$	$3^\circ 30'$	$3^\circ\pm 10'$
齿端锁止角 $\alpha/(\circ)$	88~94	$90\pm 1$

### 4 汽车变速器倒档齿轮的精密锻造

倒档齿轮用于倒车,为了便于挂档,在齿端设计有倒角,为避免倒车时脱档,花键齿两侧面均带有小的倒锥,采用精密锻造成形工艺加工,齿端倒角的形状可以改变,以更适合于平稳挂档,这一点用机加工的方法很难做到。倒档齿轮的精密锻造分两种:①冷精锻成形;②热锻成形+冷精整复合成形。根据工艺验证,从模具寿命和成本上考虑,第二种工艺应用得较普遍。

图6为汽车变速器倒档齿轮,其冷热复合锻造成形工艺流程:棒料切断→热锻成形→

(冲) 钻孔→正火→抛丸处理→磷化→冷精整倒角和直齿成形→冷倒锥成形→切削加工。  
表 6 为一种汽车变速器倒档齿轮的加工精度。



图 5 汽车变速器接合齿环图



图 6 汽车变速器变速器倒档齿轮

表 6 一种汽车变速器倒档齿轮 (模数  $m=2.35\text{mm}$ , 齿数  $z=26$ )

测量项目	公称值	实测值
齿廓总偏差 $F_a/\text{mm}$	0.029max	0.005~0.019
径向跳动 $F_r/\text{mm}$	0.092max	0.046~0.052
单个齿距偏差 $f_{p1}/\text{mm}$	0.033max	0.011~0.017
相邻齿距偏差 $f_{p2}/\text{mm}$	0.032max	0.012~0.017
齿距累积总偏差 $F_{p2}/\text{mm}$	0.13max	0.039~0.066
切线跨距长度 $W_k (K=3) / \text{mm}$	19.280±0.035	19.271~19.289
倒锥角度 $\beta$	30'±7'30"	32'~0°26'

## 5 汽车变速器输入轴、输出轴的冷精密锻造 (冷挤压成形)

为降低能耗, 节约空间, 减轻整车的重量, 汽车变速器的结构设计得越来越紧凑, 特别是乘用车变速器, 对输入轴、输出轴提出更高的强度和刚性要求, 加之后续机加工大量采用 CNC 机床, 进而对锻件毛坯尺寸精度要求提高, 原先多数采用楔横轧方法加工, 现为适应上述的发展趋势大部分都做了改进。

锻造工艺由楔横轧改为冷挤压, 目的是通过锻造工艺的改进来提高轴的强度和刚性, 必要时也可将外花键同时挤压成形, 这种冷挤压成形的轴件尺寸精度高, 表面加工余量小, 特别适合于后续数控机床加工。

将实心轴改为空心轴的结构, 轴受力时最大的载荷集中于轴颈近表面的横截面, 在中心区可以忽略不计, 所以轴重量减轻了而强度并不降低。

将接合齿轮和输入轴做成整体结构, 使变速器结构设计更紧凑和优化。

图 7 为汽车变速器输入轴、输出轴冷挤压轴类零件, 其冷挤压轴类零件的加工工艺流程: 棒料切断→退火→制坯→磷化→多工位挤压缩径→模内镦挤→冷挤花键→冷挤花键。

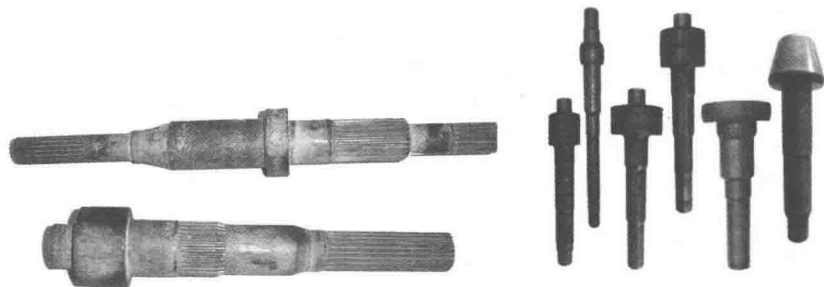


图 7 汽车变速器输入轴、输出轴冷挤压轴类零件



图 8 为空心轴。空心轴根据结构的不同常用的加工方法有以下几种：①径向锻造；②钻孔后再挤压；③挤压后再钻孔；④锻造或挤压两个部分的空心零件，然后再摩擦焊接。

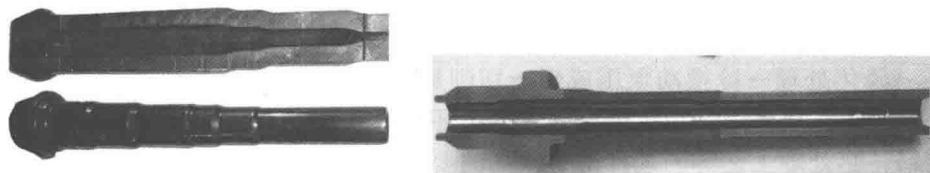


图 8 空心轴

## 6 汽车变速器输出轴与接合齿轮整体结构的齿轮轴精密锻造

图 9 为汽车变速器输出轴与接合齿轮整体结构的齿轮轴。这类轴与普通的接合齿加工方法类似，只不过对锻造设备的闭合高度、顶出距离等的要求不一样。

## 7 新能源纯电动汽车电机轴的精密锻造

图 10 为新能源纯电动汽车电动机轴，其生产工艺流程：棒料切断→抛丸处理→退火处理→磷皂化处理→冷挤压预成形→退火处理→冷挤压成形→机加工→热处理→热后精加工。

## 8 CVT 带轮轴的精密锻造

图 11 为 CVT 带轮轴，其锻造工艺流程：棒料切断→辊锻制坯→热锻成形→切边→抛丸处理→润滑→冷精整。



图 9 变速器输出轴与接合齿轮整体结构的齿轮轴

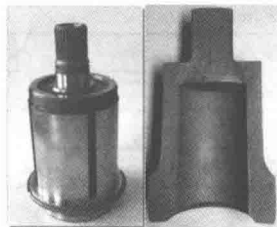


图 10 新能源纯电动汽车电动机轴

## 9 汽车变速器带外花键和接合齿的差速器壳体的精密锻造

图 12 为带外花键和接合齿的差速器壳体。差速器壳体的锻造工艺流程：接合齿部位的锻造与普通的接合齿类似，只是锻坯的形状和锻造过程有改变，外花键采用机加工的方法加工。

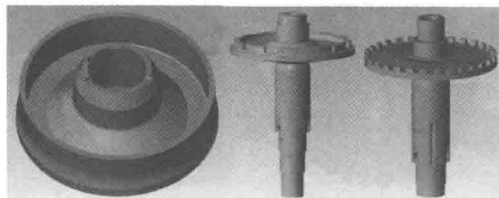


图 11 CVT 带轮轴



图 12 带外花键和接合齿的差速器壳体