

中空薄壁件精密锻挤成形 原理和技术

王匀 许桢英 李瑞涛 著



 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

中空薄壁件精密锻挤成形 原理和技术

王 匀 许桢英 李瑞涛 著



机械工业出版社

本书是一本系统阐述复杂锻件成形技术和装备重要进展的专著,以所提出的新方法为主线,结合理论、模拟和试验,选择典型的中空薄壁件,设计开发了系列多工位温冷复合锻挤精密成形工艺和模具,并对锻模延寿技术和生产线进行了阐述。

本书可供从事塑性成形理论与技术方面研究工作的科研人员及工程技术人员参考,也可供大专院校相关专业师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

中空薄壁件精密锻挤成形原理和技术/王匀,许桢英,李瑞涛著. —北京:机械工业出版社,2018.12

ISBN 978-7-111-61300-8

I. ①中… II. ①王… ②许… ③李… III. ①薄壁件-锻压-成型②薄壁件-挤压成型 IV. ①TH136

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第250826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:黄丽梅 责任编辑:黄丽梅 刘本明

责任校对:陈越 封面设计:陈沛

责任印制:张博

北京华创印务有限公司印刷

2019年1月第1版第1次印刷

169mm×239mm·9印张·180千字

标准书号:ISBN 978-7-111-61300-8

定价:49.00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

机工官博: 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

前言

精密成形技术是汽车、航空航天和机械装备等支柱产业关键零部件的近净成形技术，直接关系到系统运行可靠性和服役安全性，是支撑这些产业持续健康发展的关键。著者提出了针对中空薄壁件的锻挤精密高品质成形技术和质量精控方法。

本书系统阐述了复杂锻件成形技术和装备的重要进展，以所提出的新方法为主线，结合理论、模拟和试验，选择典型的中空薄壁件，设计开发了系列多工位温冷复合锻挤精密成形工艺和模具，并对锻模延寿技术和生产线进行了阐述。

本书由江苏大学王匀、许桢英、李瑞涛著写。感谢江苏威鹰机械有限公司提供的例子，感谢李超、姜鼎、陈鑫、陈满、吴俊峰等人的辛勤付出。

由于著者水平有限，加之精密成形技术的发展，书中如有不妥之处，敬请广大读者批评指正。

著 者

目 录

前言

第 1 章 概论	1
1.1 概述	1
1.1.1 精密锻造业发展现状	1
1.1.2 中空薄壁件分类	1
1.2 中空薄壁件精密锻挤成形国内外研究现状	2
1.2.1 国外研究现状	2
1.2.2 国内研究现状	3
1.2.3 现存问题及发展趋势	4
1.3 参考文献	5
第 2 章 汽车等速万向节锻造工艺	7
2.1 汽车等速万向节简介	7
2.1.1 万向节介绍	7
2.1.2 等速万向节分类	7
2.2 汽车等速万向节锻造工艺及模具设计	9
2.2.1 汽车等速万向节锻造工艺设计	9
2.2.2 模具设计规程	14
2.2.3 反挤压模具设计	20
2.3 汽车等速万向节温挤压数值模拟理论	21
2.3.1 有限元数值模拟理论	21
2.3.2 热-力耦合有限元理论	21
2.3.3 热-力耦合分析的基本方程	21
2.4 温锻成形工艺数值模拟模型	22
2.4.1 有限元模型的建立	22
2.4.2 模拟参数的设置	23
2.4.3 数值模拟工艺方案	23
2.5 温挤压成形过程模拟	23
2.5.1 温挤压正挤成形过程	23
2.5.2 坯料初始温度对温挤压成形的影响	26
2.5.3 凸模速度对温挤压成形的影响	27



2.5.4 摩擦系数对温挤压成形的影响	29
2.6 汽车等速万向节温挤压成形模具磨损研究	30
2.6.1 模具磨损的机理	30
2.6.2 磨损基本模型	32
2.6.3 挤压工艺参数对模具磨损的影响	33
2.7 冷精整工艺及基于产品流线的工艺分析	38
2.8 正交优化	39
2.8.1 正交优化设计的优点及步骤	39
2.8.2 冷精整工艺参数正交优化分析	40
2.9 产品流线问题	43
2.9.1 金属流线的特征和要求	43
2.9.2 长轴三柱槽壳的流线问题	44
2.9.3 结果分析和工艺方案优化	44
2.10 产品生产验证	45
2.10.1 温冷复合锻造生产过程	47
2.10.2 生产试验结果分析及质量保证	48
2.11 参考文献	50
第3章 汽车P档棘轮外齿冷挤压成形技术	51
3.1 P档棘轮简介	51
3.2 P档棘轮设计	52
3.3 P档棘轮工艺分析及模具结构	52
3.3.1 P档棘轮成形工艺对比	52
3.3.2 工艺路线方案的选择	54
3.3.3 模具结构设计	56
3.4 P档棘轮外齿成形工艺数值模拟分析	58
3.4.1 有限元模型的建立	58
3.4.2 模拟方案及工艺参数的确定	59
3.4.3 正交试验设计	60
3.4.4 正交试验结果	61
3.4.5 极差分析	62
3.4.6 方差分析	66
3.4.7 确定最优工艺参数组合	68
3.4.8 最优参数组合的模拟分析结果	69
3.4.9 下端面塌角及齿形充填饱满程度分析	69
3.4.10 速度场分析	71
3.4.11 载荷-行程分析	73
3.4.12 等效应力分布分析	73
3.5 P档棘轮外齿冷挤压模具分析	74
3.5.1 三层组合凹模尺寸初步设计	74

3.5.2 基于黄金分割法的过盈量优化设计	76
3.5.3 模具磨损分析	79
3.6 P 档棘轮外齿冷挤压过程工艺验证	79
3.6.1 试验条件准备	79
3.6.2 试验结果及分析	83
3.7 参考文献	84
第 4 章 基于激光冲击强化的模具延寿技术	85
4.1 激光冲击强化模具的原理	85
4.2 激光诱导冲击波的形成及传播机理	86
4.2.1 激光束辐射到材料表面的响应	86
4.2.2 激光诱导冲击波的产生	87
4.2.3 激光诱导冲击波的数学模型与峰值估算	88
4.2.4 激光诱导冲击波最佳峰值压力的确定	89
4.2.5 靶材内部残余应力场的理论分析	90
4.2.6 影响靶材内部残余应力场的因素	91
4.3 激光冲击强化 H13 热作模具钢的数值模拟	92
4.4 激光冲击 H13 热作模具钢残余应力场的分析	96
4.4.1 激光冲击次数对残余应力场的影响	96
4.4.2 激光功率密度对残余应力场的影响	103
4.5 激光冲击 H13 热作模具钢的试验研究	105
4.5.1 试验材料和激光冲击设备	105
4.5.2 表面形貌和表面粗糙度测试	106
4.5.3 表层微观组织分析	109
4.5.4 残余应力测试	110
4.5.5 表面显微硬度测试	112
4.6 挤压模具的激光冲击数值分析和试验研究	112
4.6.1 激光冲击挤压模具残余应力场的数值分析	112
4.6.2 挤压模具的激光冲击试验	114
4.6.3 挤压模具激光冲击前后硬度和表面粗糙度对比	115
4.6.4 挤压模具激光冲击前后的磨损量对比	116
4.7 参考文献	118
第 5 章 中空薄壁锻件成形质量检测	120
5.1 钢材金相图像预处理	120
5.1.1 钢材金相图像的亮度变换	120
5.1.2 钢材金相图像的双边滤波处理	121
5.2 钢材金相图像晶粒分割算法	123
5.3 金相晶粒度定量检测方法	124
5.4 晶界提取质量评价体试验结果及分析	125
5.5 参考文献	128



第 6 章 其他中空薄壁件温冷复合锻挤工艺设计	129
6.1 取力器传动轴成形工艺研究	129
6.2 倒档棘轮外齿成形工艺研究	132
6.3 薄壁深筒形件活塞温冷复合挤压成形工艺研究	134

第1章

概 论

1.1 概述

1.1.1 精密锻造业发展现状

精密锻造成形技术是指工件锻造成形后,只需少量机械加工或不进行机械加工的零件成形技术,又称近净成形技术。目前该成形技术主要应用于两大领域:一是批量生产的零件,例如汽车、摩托车、兵器、通用机械的一些零件,特别是形状复杂的零件;二是航空航天等工业的一些形状复杂的零件,特别是一些难切削零件、高性能材料零件、高性能轻量化结构零件。

20世纪60~70年代,在热精锻与冷精锻之后,作为一种新的精密成形技术,温精锻技术开始出现并得到发展。相比于欧、美、日等温锻技术先进国家,我国的温锻技术起步较晚,20世纪80年代初才开始大力发展温精锻和温冷复合锻挤技术。经过近40年的发展,我国在这一领域成绩斐然,其中部分领域已达到国际先进水平。

近年来,北京、济南、上海、天津和青岛等地锻压企业已成功研制出系列精密锻造设备。北京机电研究所已经研发出100~1800t的多种型号的锻造和冲压设备,可生产的复杂中空薄壁件多达30余种。江苏森威精锻有限公司已掌握了汽车球笼等多种汽车零部件的温冷复合成形技术。江苏威鹰机械有限公司和江苏太平洋精锻科技股份有限公司采用温(或热)冷复合成形工艺对齿轮等精锻件进行大批量生产。

1.1.2 中空薄壁件分类

中空薄壁件是指壁厚在2~15mm之间、中间为盲孔或通孔的锻压生产件。中空薄壁件主要应用于汽车、矿山、工程机械、航空航天等行业中,尤其在汽车变速器系统、底盘系统及发动机系统中应用广泛,而且需求量大。中空薄壁件一般结构复杂、尺寸大、壁薄、截面较小或局部难加工特征多,且为轴对称或旋转对称形状。汽车中该类零件多用于承担传动、转向、制动、驱动等任务,其尺寸精度及力

学性能要求高, 直接决定着汽车的整体质量。中空薄壁件种类繁多, 根据零件形状可分为杯形、杯杆形和法兰形等, 如图 1.1 所示; 也可根据零件整体外形尺寸的高径比分为长轴类和扁平类零件。



图 1.1 中空薄壁件种类

1.2 中空薄壁件精密锻挤成形国内外研究现状

1.2.1 国外研究现状

针对杯杆形中空薄壁件, Marciniak 等研究了薄壁管试样的温成形工艺, 得到了受扭矩作用下的应变率和温度分布, 并针对金属材料屈服应力的变化, 建立了相应的数学模型^[1]。20 世纪 80 年代末到 90 年代初, 为了得到精度高、力学性能好的等速万向节锻件, 日本开始对温冷组合工艺、闭式模锻系统及多工序成形技术进行深入的研究。在成形优化方面, 1983 年, Park 等首次提出一种有限元反向模拟方法, 并应用于板料预成形优化设计^[2]。1996 年, Badrinarayanan 和 Zabaras 提出了一种灵敏度分析方法, 解决了轴对称件墩粗的预成形优化设计问题^[3]; Gao 等采用灵敏度分析方法, 实现了微观结构的优化设计^[4]。

针对齿形中空薄壁件, Ohga 和 Kondo 等提出了直齿圆柱齿轮分流精密锻造工艺, 在金属变形过程中, 多余的金属流入分流孔, 大大减小了成形载荷, 也提高了齿顶材料流动的均匀性^[5]。此后, 日本人发现冷挤压工艺经济效益显著, 很快就把这种技术用于汽车和电气制件中。Choi 在 Ohga、Kondo 等人的基础上进一步发展了分流技术, 提出了齿形件孔分流、轴分流方法, 如图 1.2 所示。该方法可以进一步降低成形载荷、模具磨损, 提高工件各部位的充填效果^[6]。

韩国学者 Song 开发了一套计算机辅助系统, 并应用于实心 and 空心直齿轮的分流成形, 发现分流成形的齿轮充填效果好, 成形载荷小, 该系统可以有效辅助齿轮冷挤成形工艺和模具开发^[7]。后来, 随着机械工业的飞速发展, 齿轮、花键、棘轮的市场需求量越来越大, 分流方法变成了冷锻成形研究的热点并迅速发展。英国学者 Tuncer 等提出浮动凹模, 如图 1.3 所示, 该种模具使得成形摩擦力与金属流

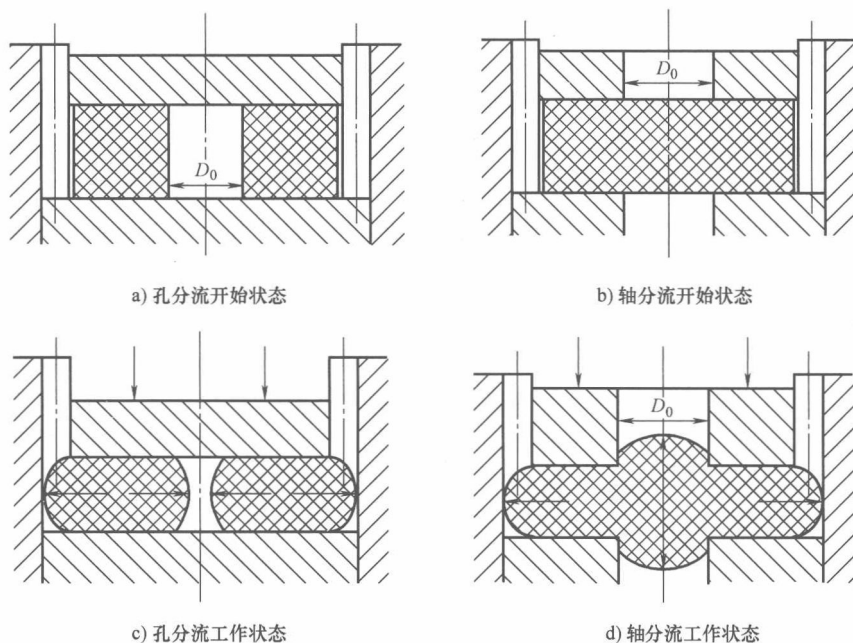


图 1.2 孔分流和轴分流示意图

向一致，金属充填模具型腔更容易^[8]。苏丹学者 Abdel-Rahman、Sadeghi 和英国学者 Dean 系统地研究了浮动凹模和模具结构优化，获得了坯料形状、模具结构对成形载荷、齿形充填饱满程度、工件表面精度及顶出力的影响规律^[9]。

进入 21 世纪后，Plančak 等对比齿轮反向冷挤成形模拟和试验结果，发现采用有限元（Finite Element）和试验的应力应变分布一致^[10]。Jeong 等模拟分析了螺旋直齿轮正挤成形过程，发现摩擦系数为 0.1、变形程度为 27% 时，齿形充填饱满，成形载荷小^[11]。韩国学者 Choi 等提出新的网格划分法，模拟发现，网格划分法可以影响直齿圆柱齿轮成形效果^[12]。Chitkara 等利用上限法分析了锻挤齿轮的变形规律，并分析了增量锻造齿形件的变形规律^[13]。

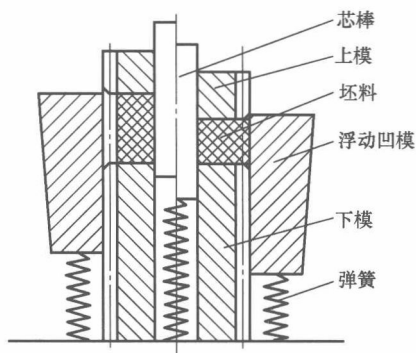


图 1.3 浮动凹模

1.2.2 国内研究现状

中国兵器工业第五九研究所的赵祖德等对支承体复杂零件的温冷复合成形工艺进行了设计和优化，得到了无明显组织缺陷、精度高、表面质量好的工件^[14]。中

北大学张宝红等利用温冷复合成形技术成功制造出杯形零件,使得杯形体不需要后续机械加工就能达到精度要求,解决了材料浪费和生产效率低的问题^[15]。华中科技大学的朱怀沈等研究了直齿圆柱齿轮的温冷复合成形工艺和基于中空分流的正向冷挤压精整工艺,建立了齿轮的弹塑性有限元模型,并对冷精整过程中的余量进行了优化选择^[16]。西安交通大学的柴蓉霞通过对原材料的转移和分流,解决了钟形壳温冷复合成形过程中工件填充性较差的问题,对工艺进行了优化并得出了最佳的工艺方案^[17]。

针对齿形中空薄壁件,合肥工业大学刘全坤结合不同的分流工艺和浮动凹模技术,发现齿顶分流能够有效提高金属流动合理性,材料充填饱满,成形载荷小,模具寿命提高 45%。此外,他还提出 NURBS 造型理论,运用流线型凹模型腔模拟渐开线直齿轮的冷挤压成形,提高了金属流动的均匀性和合理性^[18]。西安交通大学的程羽等发现适当大小的分流孔能够减小成形载荷,此外还研究了浮动凹模对直齿轮冷挤压成形的影响,解决了齿轮上下角隅充填不满的难题^[19]。滕宏春等采用正挤压分流工艺方案,齿轮充填饱满度达到 99%^[20]。南昌航空大学谭险峰等对比分析了浮动凹模与固定凹模对齿形件冷锻挤成形的影响,发现浮动凹模下工件的齿顶部分充填饱满,并且模具寿命长^[21]。蔡忠义、张一鹏对跃进汽车半轴花键冷挤压工艺进行了研究,采用 DEFORM-3D 对冷挤压成形工艺进行模拟分析,掌握了成形规律,最后获得了有利于花键轴冷挤压成形的最优参数匹配^[22]。王海平等研究了汽车差速器锥齿轮的挤压工艺,确定了坯料流动规律、损伤分布和应变分布,为后期的研究提供了参考^[23]。张猛、王广春分别对小齿轮进行了研究,发现相比于径向冷挤工艺,轴向正挤压成形载荷降低 70%,成形效果好^[24]。夏世升等提出“预锻分流区-分流终锻”的新工艺,为工业化应用提供了理论基础^[25]。重庆大学曹金豆等提出变过盈量的方法,结合遗传算法和 Kriging 模型,优化组合凹模各部件尺寸,为凹模纵向开裂问题提供了指导^[26]。

1.2.3 现存问题及发展趋势

从现有的研究成果来看,国内外学者在中空薄壁件成形理论及工艺方面都有一定的研究,并应用于实际生产中。但研究的零件类型比较有限,比如针对杯杆形零件的研究大多集中于万向节;齿形零件大多齿形较小,齿厚、齿高较大的零件研究很少,并且主要停留在理论分析(滑移线法、主应力法等)和试验研究上。实际生产中,更多地依靠经验,工艺、模具结构方面存在的问题一直没有突破,导致中空薄壁件合格率低,综合性能差,模具容易开裂。目前,中空薄壁件精密锻挤成形技术面临的主要难题有:

- (1) 金属材料流速差别大,角隅处充填困难。
- (2) 产品合格率不高、生产效率低。
- (3) 成形载荷大、模具寿命短。



随着温冷复合锻挤成形技术的创新、模具数字化设计制造的发展,以及新型高精度、大吨位锻造压力机的研制,中空薄壁件精密锻挤成形技术朝着高精度、高效率、低能耗、高材料利用率这几个方向不断发展,具体如下:

(1) 充分运用计算机技术,借助模拟软件 and 数据处理软件,研究金属成形过程中的流动规律、应变场、温度场和载荷-行程曲线等。

(2) 改善中空薄壁件的质量和精度,使表面质量和尺寸最大限度接近产品设计尺寸,达到少切削或无切削的加工目的。质量和精度控制是齿形件冷挤压技术研究的重要内容,为此,发展和完善中空薄壁件精密成形技术和精密冷挤设备是趋势。

(3) 为了适应批量生产的需要,减少劳动力,应发展专业化、连续化的智能生产线,建立专门的中空薄壁件生产中心。

(4) 优化模具材料、组织和结构,提高模具寿命,并使中空薄壁件精密锻挤技术朝智能化成形方向发展。

1.3 参考文献

- [1] Marciniak Z, Konieczny A, Kaczmarek J. Analysis of multi-stage deformation within the warm-forming temperature range [J]. CIRP Annals-Manufacturing Technology, 1980, 29 (1): 185-188.
- [2] Park J J, Rebelo N, Kobayashi S. A new approach to preform design in metal forming with the finite element method [J]. International Journal of Machine Tool Design Research, 1983, 23 (1): 71-79.
- [3] Badrinarayanan S, Zabaras N. A sensitivity analysis for the optimal design of materials forming process [J]. Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering, 1996, 129 (4): 319-348.
- [4] Gao Z, Grandhi R V. Sensitivity analysis and shape optimization for preform design in thermo-mechanical coupled analysis [J]. International Journal for Numerical Methods in Engineering, 2015, 45: 1349-1373.
- [5] Gao Z, Grandhi R V. Microstructure optimization in design of forging processes [J]. International Journal of Machine Tools & Manufacture, 2000, 40: 691-711.
- [6] Ohga K, Kondo K, Jitsunari T. Research on precision die forging utilizing divided flow: Forth Report, Influence of restricting a centripetal flow [J]. Bulletin of JSME, 2008, 26 (218): 1434-1441.
- [7] Song J H, Im Y T. Development of a computer-aided-design system of cold forward extrusion of a spur gear [J]. Journal of Materials Processing Technology, 2004, 153-154 (1): 821-828.
- [8] Tuncer C, Dean T A. A new pin design for pressure measurement in metal forming processes [J]. International Journal of Machine Tools & Manufacture, 1987, 27 (3): 325-331.
- [9] Abdel-Rahman A R O, Dean T A. The quality of hot forged spur gear forms. Part II: Tooth form accuracy [J]. International Journal of Machine Tool Design & Research, 1981, 21 (2):

129-141.

- [10] Plančak M, Kuzman K, Vilotić D, et al. FE analysis and experimental investigation of cold extrusion by shaped punch [J]. International Journal of Material Forming, 2009, 2 (1): 117-120.
- [11] Jeong M S, Lee S K, Yun J H, et al. Green manufacturing process for helical pinion gear using cold extrusion process [J]. International Journal of Precision Engineering & Manufacturing, 2013, 14 (6): 1007-1011.
- [12] Choi J C, Choi Y, Tak S J. The forging of helical gears (I): Experiments and upper-bound analysis [J]. International Journal of Mechanical Sciences, 1998, 40 (4): 325-337.
- [13] Herlan T. Warming forging of straight tooth bevels for the utility vehicle's production, advanced technology of plasticity [C]. Vol. II, Proceedings of the 6th ICTP, Sept. 19-24, 1999, Precision Forging 11: 767-778.
- [14] 赵祖德, 康凤, 胡传凯, 等. 支承体复杂零件温冷复合成形优化设计 [J]. 锻压技术, 2008, 33 (1): 21-23.
- [15] 张宝红, 王宏伟, 闫峰, 等. 杯形件温冷复合挤压研究 [J]. 精密成形工程, 2012 (5): 97-99.
- [16] 朱怀沈, 夏巨湛, 金俊松, 等. 大模数直齿轮温冷锻精整量的优化选择 [J]. 塑性工程学报, 2011, 18 (1): 53-57.
- [17] 柴蓉霞, 苏文斌, 郭成, 等. 钟形壳温-冷联合挤压工艺优化分析 [J]. 塑性工程学报, 2012, 19 (2): 7-10.
- [18] 刘全坤, 薛克敏, 许锋, 等. 齿腔分流法冷精锻大模数圆柱直齿轮 [J]. 塑性工程学报, 2010, 17 (3): 18-21.
- [19] 程羽, 杨程, 臧顺来, 等. 齿轮精密成形技术的研究 [J]. 塑性工程学报, 2004, 11 (6): 62-64.
- [20] 滕宏春, 任先玉, 曾宪文, 等. 直齿轮分流挤压精密成形试验研究 [J]. 农业机械学报, 2001, 32 (1): 99-101.
- [21] 谭险峰, 刘霞, 周庆, 等. 不同凹模形式下直齿轮挤压成形数值模拟研究 [J]. 农业装备与车辆工程, 2009 (8): 37-39.
- [22] 蔡忠义, 张一鹏. 汽车半轴花键冷挤压工艺数值模拟研究与模具设计 [D]. 长春: 吉林大学, 2007.
- [23] 王海平, 张耀宗, 李林刚, 等. 轿车差速器齿轮精密成形的有限元数值模拟 [J]. 热加工工艺, 2007, 32 (9): 121-124.
- [24] 张猛. 齿轮冷挤压成形分析和模具优化 [D]. 上海: 上海工程技术大学, 2010.
- [25] 夏世升, 王广春, 赵国群, 等. 直齿圆柱齿轮冷精锻新工艺数值模拟研究 [J]. 热加工工艺, 2003 (2): 22-23.
- [26] 曹金豆, 周杰. 直齿圆柱齿轮连续冷挤压工艺及模具技术研究 [D]. 重庆: 重庆大学, 2016.

第 2 章

汽车等速万向节锻造工艺

2.1 汽车等速万向节简介

2.1.1 万向节介绍

万向节是轴与轴之间的联轴器，主要应用于两轴不同心的情况，也属于典型的中空薄壁件。与其他传动机构（链、齿轮、带等）相比，万向节传动在长距、大轴间夹角的动力传输上优点明显，在机械、航空航天，尤其是汽车领域起到了非常重要的作用。

汽车结构非常复杂，当需要在两个不同转轴（轴线不共线且相对位置变化）之间传递动力时，则需要通过万向节传动装置连接。在实际应用中，内侧的滑动式万向节可提供一定的位移空间以适应车辆在行驶中悬架系统的动态位移。在前轮驱动的应用中，外侧万向节必须能够有效地通过较大的转动角度将扭矩传输到驱动轮上，而在后轮驱动的车辆上，这个转动角度会小很多。

2.1.2 等速万向节分类

等速万向节指的是输入轴与输出轴以相同的角速度传递动力的万向节，按工作性能可分为中心固定型和伸缩型。

中心固定型等速万向节可分为：

- (1) RF 节 如图 2.1 所示，滚道在径向截面上为圆形，钢球为二点接触。
- (2) AC 节 如图 2.2a 所示，滚道在径向截面上形状为椭圆或双圆弧。
- (3) UF 节 如图 2.2b 所示，UF 节可提供与 AC 节相同的强度和使用寿命，与 RF 节相比，滚道在径向截面上为圆形和直线。

伸缩型等速万向节分为：

- (1) GI 节 如图 2.3a 所示，GI 节是开放式的，广泛适用于变速箱侧的移动节，特别适用于中等摆角场合，较小的滑动阻力可以产生良好的 NVH 性能。
- (2) AAR 节 如图 2.3b 所示，AAR 节用于差速器侧，与 GI 节相比，滑动阻力和轴向力都更小，NVH 性能更加优越。

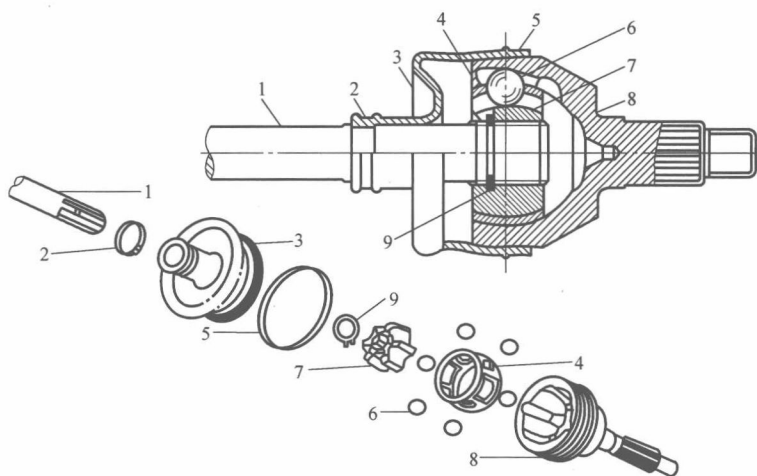
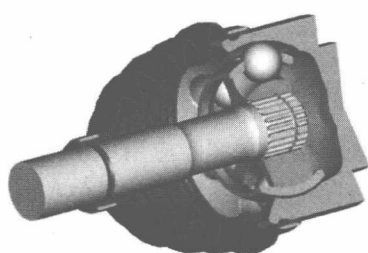
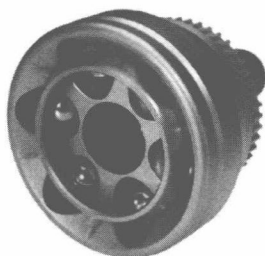


图 2.1 固定型球笼式万向节 (RF 节)

1—主动轴 2—小钢带箍 3—外罩 4—保持架 (球笼) 5—大钢带箍 6—钢球
7—星形套 (内滚道) 8—球形笼 (外滚道) 9—卡环

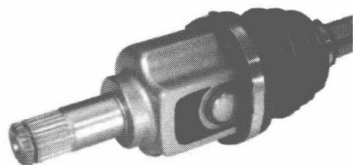


a) AC 节



b) UF 节

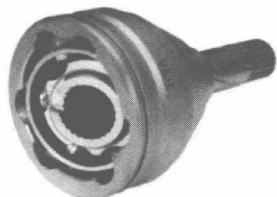
图 2.2 固定滚珠式万向节



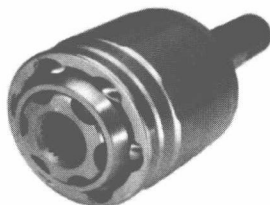
a) 三销式万向节 (GI 节)



b) 三销滑动式万向节 (AAR 节)



c) 移动式万向节 (VL 节)



d) 双重偏置万向节 (DO 节)

图 2.3 伸缩型等速万向节



(3) VL 节 如图 2.3c 所示, 钢球由在内、外套上的直滚道交叉处具有外球面的保持架夹持, 内、外套上的直滚道在轴向等角度反向斜置。V2 节通常用作后轮驱动半轴的内侧万向节, 在大摆角、小轴向力的场合使用。

(4) DO 节 如图 2.3d 所示, DO 节类似于 VL 型万向节, 同样适用于大摆角、小轴向力的场合。

2.2 汽车等速万向节锻造工艺及模具设计

2.2.1 汽车等速万向节锻造工艺设计

等速万向节锻造产业经过十余年的研究攻关和不懈努力, 逐步将塑性加工领域的先进精密成形技术应用到了等速万向节锻造生产。本节重点介绍等速万向节的长轴三柱槽壳锻造工艺^[1]。

图 2.4 所示为长轴三柱槽壳的零件图。长轴三柱槽壳的头部是带有三个流道的中空壳体, 柄部是直径依次递减的实心轴。根据零件图结构, 可将零件轴部锻件图设计为三个直径依次递减的实心轴, 同时由于轴部锻压成形精度不是特别高, 因此留出机加工余量较多; 对于壳体部分, 由于冷精整壳体零件后成形精度很高, 壳体内壁无需切削就可以满足设计需求; 至于壳体外壁, 考虑到零件结构特点, 留出很小的切削余量即可, 因此长轴三柱槽壳的锻件图设计如图 2.5 所示。长轴三柱槽壳的材料为 40Cr。

采用温冷复合挤压工艺, 工艺流程如图 2.6 所示: 截取棒材 (图 a)→坯料进行球化退火、抛丸、低温预热坯料到 200℃ 左右→表面石墨涂层处理→中频感应加热到钢的临界温度 A_{c3} 以上 20~50℃→正挤压锻件头部, 同时对杆部进行第一次减径挤压 (图 b)→镦粗头部 (图 c)→反挤压锻件头部 (图 d)→退火、抛丸、磷化皂化处理→第二次减径挤压杆部 (图 e)→锻件冷精整 (图 f)。

工艺路线选定好以后, 再根据三柱槽壳的锻压件尺寸来设计每个工序的成形尺寸, 其步骤如下:

用 UG 画出冷精整后锻件的三维图, 由软件计算出锻件体积, 根据成形前后体积不变的原则, 另加上成形过程中所需切削加工去除的材料, 得出坯料的体积。根据材料库中所含的不同规格棒料, 选取 $\phi 60 \times 195$ 的棒材作为坯料, 如图 2.7 所示。

工步一: 正挤压锻件头部, 同时对杆部进行第一次减径挤压。正挤压工步设计, 一般以一次挤出一个台阶的轴杆较合理, 但根据成形产品特点, 也可以一次挤出两个台阶, 如图 2.8 所示。合理的正挤压变形量有利于延长模具寿命, 工件顶出容易。实践证明, 当正挤压变形量过大时, 坯料的顶出要比挤压更困难。在合理比较锻造难度和材料消耗两个互相矛盾的因素后, 得出的结论是: 挤出轴杆直径最好不小于挤压筒直径的 50%。该工步设计的轴杆直径为挤压筒直径的 63.5%, 符合