

文章编号:1672-058X(2011)04-0432-05

半轴齿轮温精锻成形工艺的研究

张 勇

(机械工业第三设计研究院 综合一所,重庆 400039)

摘 要:运用有限元模拟软件对半轴齿轮的温精锻成形过程进行了数值模拟分析,找出了影响齿形成形的关键因素。设计出了一套合理的温精锻工艺和基于 800 t 双动液压机的模具。研究表明,恰当的模具结构及形状尺寸,合理的连皮厚度和位置可以有效地改善齿轮的填充情况,确保齿形的完全充满。

关键词:半轴齿轮;温精锻;模具结构;连皮;充填

中图分类号:TH728

文献标志码:A

闭塞式精锻工艺属于金属塑性加工的先进工艺,齿轮精锻就是通过精密锻造直接获得完整齿形,且齿面不需或仅需少许精加工即可使用的齿轮制造技术。它有效地改善了齿轮的组织和性能,且精锻齿轮的齿形精度能达到精密级公差、余量标准,工件只需少量精加工就可进行热处理,提高了生产效率及材料利用率,降低了生产成本,大大提高了齿轮制造的市场竞争能力。

近几年来,由计算机控制的双动液压机的成功研制以及三维体积成形模拟软件的开发应用共同促进了齿轮精锻技术的迅猛发展。为此,研究了一套能在双动液压机上实现闭塞式齿轮精密成形的实验装置,并就影响齿轮成形的工艺及参数进行了分析。

影响齿轮成形质量的参数很多,其中凸、凹模结构及形状尺寸、连皮厚度、连皮相对于齿端面距离等对半轴齿轮的成形载荷、金属流动情况(或充填性)以及模具寿命等具有很大的影响。此处拟采用三维体积成形模拟软件 DEFORM-3D 对半轴齿轮的成形过程进行模拟,并就上述不同的工艺参数的影响规律进行了研究,确定最优的凸、凹模结构、连皮厚度及连皮相对于齿端面距离等,设计出一套合理的温精锻工艺和基于 800 t 双动液压机的模具。

1 工艺分析

半轴齿轮原精锻工艺为:坯料加热→粗锻→切飞边→去氧化皮→加热→精锻→切飞边→表面清理→冷压整形→切削内孔、半轴和大端面→拉削内孔花键→热处理→喷丸^[1]。

上述工艺存在能耗多,材料利用率低,加工效率低,模具寿命短等诸多问题。为了解决这些问题,现通过模拟仿真,研制出了节能、省料、高效的无飞边温精锻工艺。

新工艺流程为:坯料少无氧化加热→精锻→表面清理→切削内孔、半轴和大端面→拉削内孔花键→热处理→喷丸。图 1 和图 2 分别为半轴齿轮零件简图和精锻件三维实体模型。

工艺与原工艺相比,省去了粗锻、粗锻后的加热、去氧化皮、两次切边以及精整等 6 道工序,大大降低了能源消耗和人力消耗。

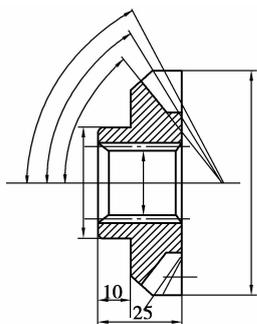


图1 半轴齿轮零件图

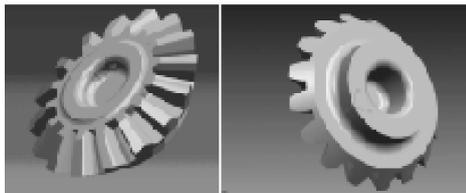


图2 半轴齿轮精锻件图

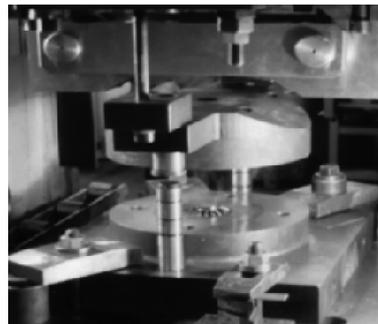


图3 半轴齿轮精锻模实物

2 模拟分析

针对不同的凸凹模结构、连皮厚度和连皮位置(连皮相对于齿端面的距离)对齿轮充填性的影响分别进行了模拟分析,确定出了最佳工艺方案,并设计和制造了一套在双动液压机上实现齿轮精密成形的实验装置,如图3所示。

2.1 基本模型参数设置

(1) 材料为20Cr,美国牌号 AISI5120,加热温度 800 ℃;(2) 采用刚塑性有限元模型;(3) 输入压机速度 200 mm/s;(4) 摩擦边界条件^[2]:摩擦模型采用剪切模型,即 $\dot{\tau}_f = mk = m \cdot \frac{\sigma}{\sqrt{3}}$. m 为剪切摩擦因子,此处取 $m = 0.25$, k 为屈服极限。

2.2 模具结构的影响

表1 模具结构对齿轮充填性的影响

坯料尺寸	凸凹模简图	网格变形图	行程-载荷曲线	材料利用率
方案1 $\varphi 35 \times 58$				80.4%
方案2 $\varphi 35 \times 52$				90.1%

由表1可看出,齿轮大端尖顶处(用小圆圈出部分)是最终充填区。方案1是按照传统理论设计的,锻件上小于 $\varphi 25$ 的孔不锻出^[3-5]。该方案中采用平底凸模,上凹模为齿模,下凹模为背锥模。齿模中大端尖顶处不设尖角,成形时齿轮大端尖顶处难以充满,成形终了时,载荷几乎呈直线上升,模具受力状况十分恶劣,寿命较低。而方案2中齿模在下,背锥模在上面,这样有利于坯料定位和顶出工件。在该方案中齿模大端尖顶处设置尖角,成形时虽然锻出了尖角,增加了一道后续切除工序,但可以起到容纳多余金属的作用,并确

保齿廓面的完全充满。在凸模下端与顶杆上端加一大小、形状适当的凸台,可对毛坯产生一定的径向力,便于分流,更有效地改善了齿顶的充填条件,最终齿形充填非常饱满,无任何缺陷。不过由于凸台与坯料的摩擦作用,最大载荷与前者相比并没有明显降低,只是载荷突变状况有所缓和,故模具寿命也相应延长。凸台的引入使材料利用率增加了 9.7%,并减少了后序切削内孔的工时,经济效益非常显著^[6-8]。图 4 所示为模具结构对齿轮充填性的影响的实验结果。

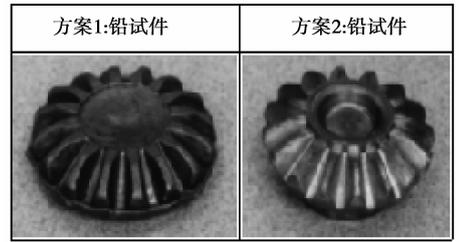


图 4 模具结构对齿轮充填性的影响实验结果

从图 4 可以看出,根据方案 1 做出来的铅试件大端尖顶部位没有充满,其中铅试件齿顶和齿根表面上可以清楚的看见金属向齿轮大端流动的痕迹,像波纹一样层层推进;而按照方案 2 做出来的铅试件表面轮廓清晰,看不到一点波纹状痕迹,且齿形充填十分饱满。实验结果与模拟结果印证得较好。

2.3 连皮厚度和位置对齿轮充填性的影响

(1) 不同连皮厚度的影响。图 5 为连皮位置示意图。图中 $d = 20 \text{ mm}$, $H = 15 \text{ mm}$, t 表示连皮厚度, h 表示连皮与端面之间的距离。采用方案 2, 当 $h = 0.42H$, 即连皮中心线经过齿轮大端尖顶时,不同连皮厚度对齿轮充填质量的影响如表 2 所示。

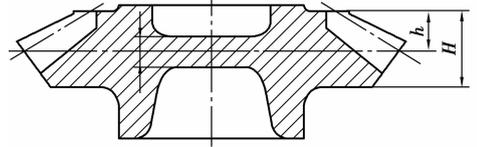


图 5 连皮位置示意图

表 2 连皮厚度对齿轮充填性的影响

t	最大载荷/ t	金属流动性	齿形充填状况	材料最大损伤因子值	综合测评
4 mm	51.16	一般	好	0.342 8	一般
6 mm	48.41	好	较好	0.299 4	好
8 mm	51.77	差	一般	0.295 7	差

从表 2 可以看出,不同的连皮厚度对齿轮最大成形载荷、金属流动性、齿形的充填情况和材料损伤等的影响是不同的。当连皮厚度 $t = 8 \text{ mm}$ 时,材料损伤小,但金属流动性及齿形充填状况差,且成形载荷大;当连皮厚度 $t = 4 \text{ mm}$ 时,齿形充填性虽好,但材料损伤倾向较大,载荷也较大;而当连皮厚度 $t = 6 \text{ mm}$ 时,载荷最小,且金属流动性和齿形充填情况良好,而材料损伤情况适中。综合考虑以上几种因素,通过对不同尺寸的半轴齿轮(齿顶圆直径为 62 ~ 169 mm)成形的模拟,可以确定当连皮厚度 $t = 0.3 d$ 时,对齿轮充填最有利。

(2) 不同连皮位置的影响。采用方案 2, 当 $t = 0.3 d$ 时,不同连皮位置对齿轮充填质量的影响如表 3 所示。

表 3 连皮位置对齿轮充填性的影响

h	最大载荷/ t	金属流动性	齿形充填情况	材料最大损伤因子	综合测评
$0.4H$	48.52	好	好	0.30	好
$0.5H$	45.43	较好	较好	0.295 7	较好
$0.6H$	45.80	一般	一般	0.308 8	一般

从表 3 可以看出,不同的连皮位置对齿轮最大成形载荷、金属流动性、齿形的充填情况以及材料损伤等的影响也是不一样的。当 $h = 0.6H$ 时,金属流动性和齿形充填状况较差,且材料损伤相对较大;当 $h = 0.4H \sim 0.5H$ 时,金属流动较为均匀,齿形容易充满。综合考虑以上几种因素,当 $h = 0.5H$ 时,齿轮成形最有利。

3 模具设计

在模具设计中,模具齿形的设计是关键,应充分考虑锻件和模具的热因素、弹性因素及氧化皮的影响,

以确保齿轮的最终成形精度。假定终锻温度下锻件和模具型腔的温度场是均匀的,那么热因素引起的锻件和模具型腔的膨胀应是均匀的线性膨胀,则型腔尺寸可参照下式确定^[3]:

$$A = \beta_1 T_1 - \beta_2 T_2 - \varepsilon$$

式中: A 为当量线膨胀率; β_1 为锻件材料的线膨胀系数, $\text{mm}/^\circ\text{C}$; β_2 为模具材料的线膨胀系数, $\text{mm}/^\circ\text{C}$; T_1 为锻件终锻温度, $^\circ\text{C}$; T_2 为模具工作温度, $^\circ\text{C}$; ε 为锻件出模后的弹性恢复应变与模具在锻造终了时的弹性应变之和,简称当量弹性应变。

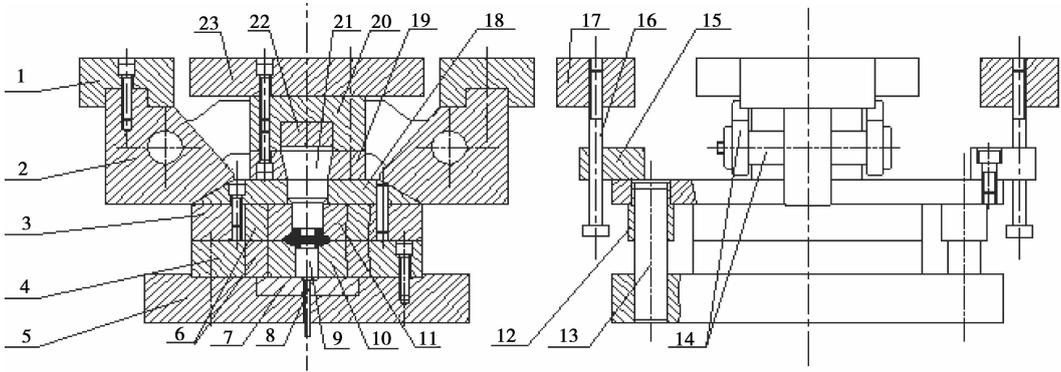


图6 改进后的半轴齿轮精锻模

1—斜压块固定板;2—斜压块;3,4—上下凹模外圈;5—下模板;6—上下凹模中圈;7—下垫板;8—下顶杆;
9—上顶杆;10—齿模;11—背锥模块;12—导套;13—导柱;14—斜压块拉板机构;15—提升板;16—拉杆;
17—拉杆固定板;18—凹模压板;19—凸模压板;20—凸模限位圈;21—凸模;22—凸模垫板;23—上模板

模具中斜压块2与拉杆16呈 90° 分别固定在双动液压机外滑块上,上模板23固定在内滑块上。开始时,内滑块处于上始点,外滑块下行。拉杆带着凹模压板18与上凹模下行,通过导套12,导柱13准确导向,上下凹模准确闭合,形成齿轮型腔,随后斜压块2与压板接触,压死凹模。坯料从压板孔口落入型腔,依靠背锥模块11的型腔孔自然定位,接着内滑块带动凸模21下行,锻挤坯料,使金属充满型腔。其中凸模行程靠凹模压板18与凸模压板19接触与否确定。取件时,内外滑块动作顺序与上述相反。待上下凹模完全分开后,顶杆将锻件从齿模10中顶出,完成一次成形。改进后的模具结构继承了改进前模具结构的优点,并克服了其结构上的不足,有利于金属的流动充型,并确保齿轮的完全充满。

4 结 论

(1) 利用有限元模拟软件模拟半轴齿轮的成形过程,可以预测齿轮成形过程中可能出现的缺陷,并可对出现的缺陷或问题在计算机上进行分析改进,消除缺陷,减少试模次数,从而大大缩短试模周期。

(2) 分析了各主要工艺参数对齿轮充填成形的影响规律。① 凹模结构对齿形的充满有较大影响。改进凹模结构,在齿模大端尖顶处设置尖角,成形时该尖角可以起到容纳多余金属的作用,并确保齿廓面的完全成形。② 凸模结构齿形的充填也有很大的影响。改进凸模结构,在凸模下端与顶杆上端加一大小、形状适当的凸台,可对毛坯产生一定的径向力,便于金属分流,有效地改善了齿形的充填条件。③ 合理的连皮厚度和连皮位置对齿形的充填也起着重要的作用。当连皮厚度 $t=0.3d$, $h=0.5H$ 时,齿形的充满情况最好。④ 锻件上小于 $\varphi 25$ 的孔,只要模具结构合理,锻出来更有利于齿形的充满。

(3) 设计了一套具有典型结构的基于800 t双动液压机的模具装置。该模具装置具有坯料定位准确迅速、上下模导向准确以及顶件方便可靠等优点。

(4) 通过理论分析和实验结果的对比,进一步论证了模拟分析结果的正确性,并利用模拟结果对模具进行了修改和优化,完善了模具设计。

(5) 课题的研究成果可以为其他齿轮的生产以及相关的模具设计提供理论和实践依据,对促进我国齿轮精锻技术的发展具有积极的作用。

参考文献:

- [1] 田福祥. 直伞齿轮精锻模齿模的设计与制造[J]. 模具制造, 2002, 12: 28-33
- [2] 彭颖红. 金属塑性成形仿真技术[M]. 上海: 上海交通大学出版社, 1999
- [3] 田福祥. 新型行星齿轮锻模设计[J]. 模具工业, 2003(2): 35
- [4] 程羽等. 齿轮冷精锻齿形工艺的研究. [J] 锻压技术, 2003(2): 11-12
- [5] 夏巨湛. 精密塑性成形工艺[M]. 北京: 机械工业出版社, 1999
- [6] 王雷阳, 李正生, 冯晓伟. 基于 labwindows/CVI 的装备运输振动监测系统[J]. 四川兵工学报, 2011, 32(2): 55-58
- [7] 臧涛. 基于双模糊控制的异步电动机软起动器[J]. 四川兵工学报, 2011, 32(2): 59-60
- [8] 权国政, 冯福伟, 艾百胜, 等. 半轴锥齿轮温精锻工艺的数值模拟和实验研究[J]. 热加工工艺, 2008, 12: 18-21

Research on Warm Precision Forging Technology of Half Axle Gears**ZHANG Yong**

(No. 1 Comprehensive Research Institute, The Third Design and Research Institute
of Mechanical Industry, Chongqing 400039, China)

Abstract: Finite element simulation software is used to analyze the numerical simulation for the process of warm precision forging of half axle gears, the key factors influencing gear form forging is found out, and a set of proper warm precision forging technology and die – set based on 800 ton double – action hydrostatic press is designed. The research indicates that proper die structure and dimension, suitable web thickness and position can effectively improve filling situation of gears and ensure full filling of gear form.

Key words: half axle gear; warm precision forging; die structure; web; filling

责任编辑:李翠薇

~~~~~  
(上接第 431 页)

**Research on Training Mode for Reserved Talents in Track and Field  
——Taking Fujian Province as an Example**

**ZHOU Xin<sup>1</sup>, SHI Wen-zhong<sup>2</sup>**

(1. Department of Physical Education, Minjiang College, Fujian Fuzhou 350108, China;  
2. School of Physical Education, Fujian Normal University, Fujian Fuzhou 350108, China)

**Abstract:** Through literature and material method, questionnaire, expert interview, statistics and so on, this paper studies the status quo of reserved talents cultivation in track and field of Fujian Province, based on this, reveals the inadequacy of the training mode and puts forward the relative measures, aiming to provide theoretical and practical reference for healthy development of track and field of Fujian Province.

**Key words:** competitive sports; reserved talents; training mode

责任编辑:田 静  
校 对:罗泽举