

柴油机喷射系统泵体精密挤压工艺

李京¹, 郭巨寿², 康凤³, 尹国华², 张雪冬², 于霞²

(1.海军驻兴平地区军事代表室, 陕西 兴平 713105; 2.北方通用动力集团有限公司, 山西 大同 037036; 3.西南技术工程研究所, 重庆 400039)

摘要: **目的** 为了提高燃油喷射系统泵体的综合性能和制造效率, 采用精密挤压来实现变量泵泵体的高效绿色制造。**方法** 通过工艺设计, 初步确定了锻件形状、分模形式和模具结构, 采用有限元法对泵体精密挤压工艺进行仿真分析, 研究了挤压成形时金属在型腔的流动规律, 模具结构对挤压时的影响, 以及锻件边角的充型情况。**结果** 通过模拟仿真, 对设计的挤压工艺进行了理论验证, 坯料流动主要以充填法兰和外侧飞边的方向为主, 外六角根部、法兰底部均充填完全, 最终多余的金属流向模具间隙, 没有出现紊流和涡流的现象。**结论** 通过最终的工艺试制试验, 验证了设计的工艺方案, 精密挤压的变量泵泵体充型饱满, 法兰顶部及根部六角形均充型完全, 经机加工后成品尺寸稳定, 满足产品的技术要求。

关键词: 发动机; 泵体; 精密挤压; 工艺

DOI: 10.3969/j.issn.1674-6457.2016.06.011

中图分类号: TG306 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-6457 (2016)06-0060-04

The Precision Extrusion Forming of the Pump Body Used for the Injection System of Diesel Engine

LI Jing¹, GUO Ju-shou², KANG Feng³, YIN Guo-hua², ZHANG Xue-dong², YU Xia²

(1.Navy in Xingping Military Representative Office, Xingping 713105, China; 2.North General Power Group Co., Ltd., Datong 037036, China; 3.Southwest Technology and Engineering Research Institute, Chongqing 400039, China)

ABSTRACT: The work aims to improve the comprehensive performance and manufacturing efficiency of the pump body of the fuel injection system with precision extrusion, so as to achieve the highly-efficient and green manufacturing of the pump body. Through the process design, the forging shapes, form of die splitting and die structure were initially determined. By using the finite element method, the precision extrusion process was analyzed with simulation. Metal flow rule in the cavity, the influence of die structure on the extrusion and mold filling of forging edges were studied. The designed extrusion process was theoretically verified by analog simulation. Blank flow was mainly used to fill the flange and the outside flash. The outer hexagon corners and the bottom of the flange were filled completely. Finally, the excessive metal flowed to the die gap and no turbulence and vortex occurred. Through the final process trial-production test, the designed process design is verified, the variable pump body is fully filled, and the top of flange and the root of hexagon are filled completely. After machining, the dimension of finished products is stable and meeting the technical requirements.

KEY WORDS: engine; pump body; precision extrusion; technology

柴油发动机中燃油喷射系统是在一定压力下, 利用喷油器将一定数量的柴油喷入汽缸内的燃油

收稿日期: 2016-09-12

基金项目: 总装预研资助项目 (51318040306)

作者简介: 李京 (1979—), 男, 陕西西安人, 工程师, 主要研究方向为舰船柴油机质量工程技术。

供给装置^[1-2]。变量泵泵体能根据工作需要一定范围内调整输出特性,是喷射系统的重要零部件。变量泵泵体的工作环境较为复杂,装配精度要求高,需求量较大^[3]。工厂原采用的数控切削加工的生产工艺,切削量大、生产效率低且材料浪费较为严重。精密挤压技术是一种高效、高精、优质低耗的先进工艺,成形的零件不仅尺寸精度高、表面质量好、生产效率高,而且还可以通过连续的金属流线提高产品性能,是一种实现少切削甚至无切削加工的有效措施^[4-6]。但另一方面,精密挤压时材料的变形抗力大,对设备和模具要求高,文章针对变量泵泵体开展精密挤压工艺优化研究,以期达到提高该产品质量和生产效率,实现生产工艺的节能、节材、绿色环保的目的^[7-8]。

1 工艺设计

变量泵泵体零件见图1a,底部为六角多边形,头部为切边三角形,零件材料为低碳合金结构钢20Cr,外形尺寸精度要求IT8,周身遍布装配孔,内外表面粗糙度为 $Ra\ 3.2\ \mu\text{m}$,无裂纹、划痕等缺陷。该零件原采用 $\Phi 150\ \text{mm}$ 的棒料切削加工的工艺生产,材料利用率仅不到30%,制造效率低下,且加工过程中切断了金属的纤维流线,对零件的机械性能也有一定的影响^[9]。现对该零件先采用精密挤压的工艺后再进行机械加工,其内腔形状结构简单,一次成形到位,不再机加工,设计的泵体锻件形状见图1b,该锻件的分模形式见图1c。

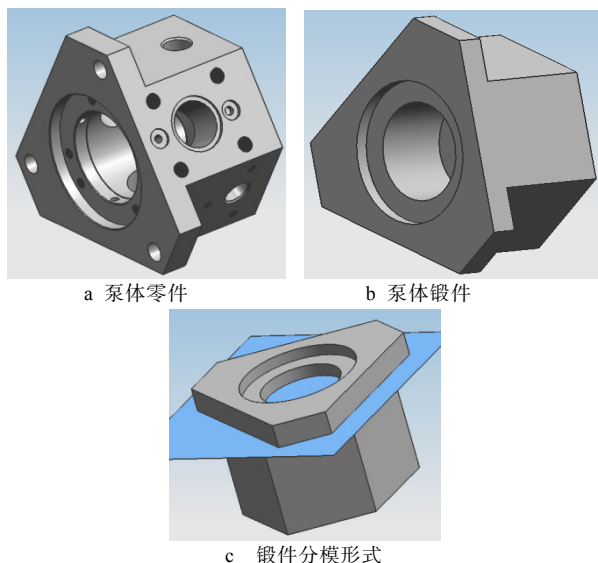


图1 泵体工艺设计

Fig.1 Technological design of the pump body

2 模具结构设计

根据泵体锻件的工艺分析,泵体精密挤压成形模模具结构设计见图2。

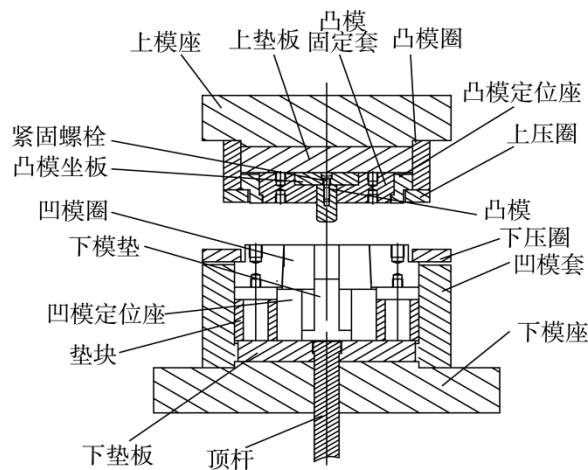


图2 泵体精密挤压成形模

Fig.2 Extrusion die of the pump body

在泵体精密挤压成形模模具结构中,锻件六角底部的部分设置在下模腔,方便坯料定位;由于要保障六角底部外表面不加工,则不能设计拔模斜度,只能依靠下模的顶料机构将锻件顶出脱模,另一方面,由于头部形状较浅,一般来说不易卡在上模^[10],对泵体来说,要保证六角外形不加工,必须深入研究模具的弹性回复和补偿参数,因此,在模具型腔尺寸设计时,要依据坯料变形的回弹量进行尺寸补偿,保证锻件的尺寸精度。

3 模拟仿真试验

在工艺试验前,采用有限元法对泵体精密挤压工艺进行仿真分析,研究成形时金属在型腔的流动规律,模具结构对挤压时的影响,以及锻件边角的充型情况,为工艺试制打下基础,以避免不必要的试制成本。

变量泵泵体精密挤压有限元建模见图3,坯料设计为刚-粘塑性模型,挤压模具设计为刚性模型。坯料选材为AISI 5120,摩擦模型为常剪应力摩擦模型,摩擦因数为0.25,网格个数为25 000个,凸模速度为10 mm/s,坯料温度和模具温度均为25℃^[11-12]。泵体的挤压成形过程见图4,从图4可以看出,在挤压初期,当凸模挤入坯料时,上半部分的坯料开始发生反挤压和镦粗的变形;当凸模

继续下行挤入坯料,底部金属也开始充填型腔,并且头部的坯料在镦粗后开始挤出法兰边,多余的金属也开始向凸凹模间隙流出;成形末期,凸模完全挤入坯料,法兰边完成充型,多余的金属全部从模具间隙流出。

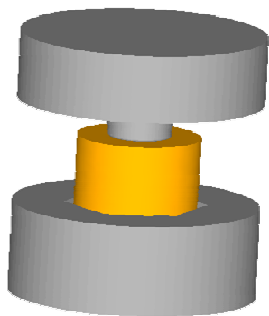


图3 泵体挤压有限元模型
Fig.3 FEM model of pump body extrusion

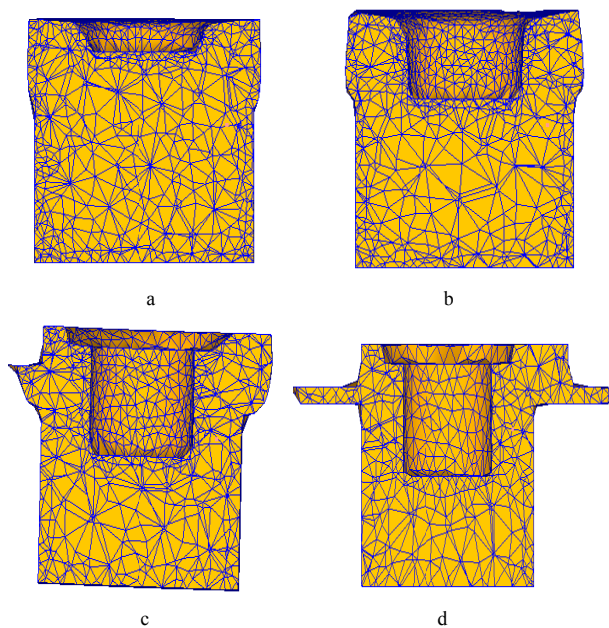


图4 泵体挤压成形过程
Fig.4 The process of pump body extrusion

从应力应变的分布来看,最大应力和应变最初集中在凸模挤入坯料的地方,随着飞边开始产生,最大应力及应变集中在飞边处,成形接近尾声时,法兰的压型也即将到位,这时最大应力又集中在法兰边内部的凹孔中,整个型腔完全充型,泵体等效应力和应变的分布情况见图5—6。金属流动趋势见图7,从图7可以看出,坯料流动主要以充填法兰和外侧飞边的方向为主,成形结束时,外六角根部、法兰底部均充填完全,最终多余的金属流向模具间隙,没有出现紊流和涡流的现象。

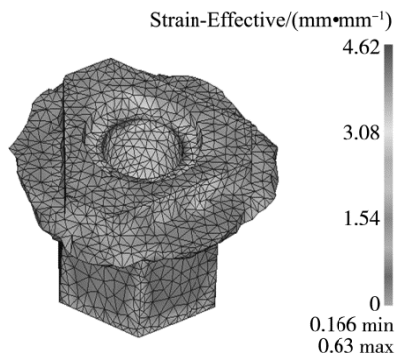


图5 泵体等效应力分布
Fig.5 Stress-effective

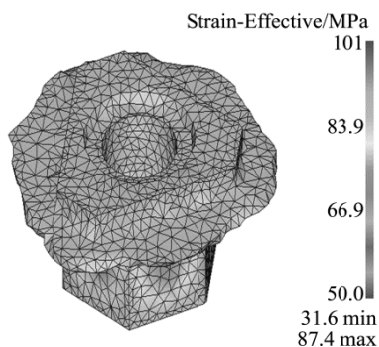


图6 泵体等效应变分布
Fig.6 Strain-effective

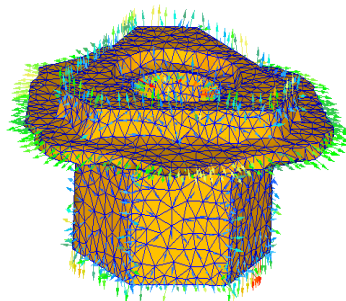


图7 金属流动趋势
Fig.7 Vector plot

4 工艺试制试验

在前期的工艺模拟分析的基础上,开展了泵体的挤压工艺试制,工艺试验在 1000 t 四柱液压机上开展,坯料进行预先退火处理以及磷化皂化工艺,试制的主要工艺流程为:下料—退火—酸洗—磷化皂化—成形—切边—打磨—检验—入库。工艺试制过程见图8。

变量泵泵体经机加工后成品见图9,泵体充型饱满,法兰顶部及根部六角形均充型完全,冷挤压成形的泵体尺寸稳定,经检测,均满足产品的技术要求。



图8 泵体工艺试制

Fig.8 Engineering test of the pump body

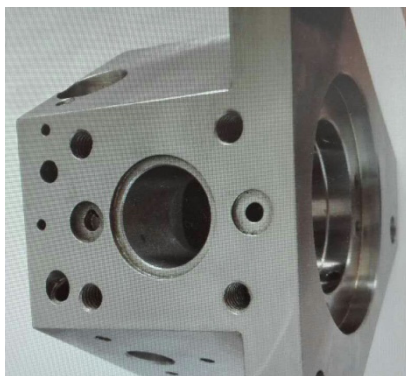


图9 泵体零件成品

Fig.9 Pump body

5 结论

采用有限元仿真技术对变量泵泵体的精密挤压过程进行了数值模拟,研究了坯料变形全过程,金属流动趋势以及成形应力应变分布等,对工艺设计的分模形式、模具结构、坯料尺寸等进行了仿真试验,验证并确定了工艺方案,并为后续工艺试制试验提供了理论依据。

根据模拟仿真结果,对变量泵泵体开展了精密挤压试制,试验结果表明,锻件充型饱满,法兰顶部及根部六角形均充型完全,冷挤压成形的泵体尺寸稳定,经产品机加工后检测,尺寸、性能等均满足产品的技术要求。

参考文献:

- [1] 杨晨霞. 电控燃油喷射系统的研究[D]. 天津: 河北工业大学, 2013: 5—8.
YANG Chen-xia. Research on the Electronic Controlled Fuel Injection System[D]. Tianjing: Hebei University of Technology, 2013: 5—8.
- [2] 郝胜强, 上官林宏, 王永利, 等. 柴油机高压共轨燃油喷射系统研究进展[J]. 机械制造与自动化, 2014, 43(4): 9—11.
HAO Sheng-qiang, SHANGGUAN Lin-hong, WANG Yong-li, et al. Progress of Researching on High-pressure Common Rail Fuel Injection System of Diesel Engine[J]. Machine Building & Automation, 2014, 43(4): 9—11.
- [3] 刘小红. 某型柴油机高压共轨燃油喷射系统几个关键技术研究[D]. 西安: 西安电子科技大学, 2010: 10—13.
LIU Xiao-hong. Research on the Key Technologies of High Pressure Common Rail Fuel Injection System for a Certain Type of Diesel Engine[D]. Xi'an: Xidian University, 2010: 10—13.
- [4] 宫显宇, 唐康, 陈海鹏, 等. 汽车差速器壳类锻件精密挤压工艺研究[J]. 锻压技术, 2010, 35(5): 20—23.
GONG Xian-yu, TANG Kang, CHEN Hai-peng, et al. Precision Extrusion Process Study on Automobile Differential Case Forgings[J]. Forging & Stamping Technology, 2010, 35(5): 20—23.
- [5] 郭巨寿, 高峰, 王斌, 等. 发动机泵体精密热模锻成形工艺研究[J]. 精密成形工程, 2014, 6(6): 111—115.
GUO Ju-shou, GAO Feng, WANG Bin, et al. Precision Hot-die Forging Process of Engine Pump Body[J]. Journal of Netshape Forming Engineering, 2014, 6(6): 111—115.
- [6] 郭永强, 徐春国, 崔继红. 半轴套管精密挤压成形新工艺及应用[J]. 锻压技术, 2012, 37(6): 12—15.
GUO Yong-qiang, XU Chun-guo, CUI Ji-hong. Novel Precision Extrusion Process of Axle Sleeve and Its Application[J]. Forging & Stamping Technology, 2012, 37(6): 12—15.
- [7] 肖玉静, 孙大明, 李凯, 等. 精密挤压技术在某产品钢芯加工中的应用[J]. 精密成形工程, 2012, 4(5): 100—103.
XIAO Yu-jing, SUN Da-ming, LI Kai, et al. Application of Precision Extrusion Technology in the Processing of a steel Core[J]. Journal of Netshape Forming Engineering, 2012, 4(5): 100—103.
- [8] 李国俊, 张治民, 任静茹. 一种高精度尺寸杯形件在精密挤压工艺中的计算方法[J]. 塑性工程学报, 2012, 19(3): 1—7.
LI Guo-jun, ZHANG Zhi-min, REN Jing-ru. Calculation Method for Precision Extrusion of a High Precision Cup Shaped Part[J]. Journal of Plasticity Engineering, 2012, 19(3): 1—7.
- [9] 王东军, 郭巨寿, 张雪冬, 等. 柴油机关键件精密成形工艺研究[J]. 精密成形工程, 2015, 7(4): 84—87.
WANG Dong-jun, GUO Ju-shou, ZHANG Xue-dong, et al. Precision Forming of the Critical Part Used for Diesel Engine[J]. Journal of Netshape Forming Engineering, 2015, 7(4): 84—87.
- [10] 张勇. 复杂不锈钢零件精密挤压过程模拟及工艺优化[D]. 武汉: 武汉理工大学, 2012: 16—18.
ZHANG Yong. Precision Extrusion Process Simulation and Process Optimization for Complex Stainless Steel Parts[D]. Wuhan: Wuhan University of Technology, 2012: 16—18.
- [11] 陈军, 张向, 阮雪榆. 金属三维挤压成形过程数值模拟的若干关键技术[J]. 中国有色金属学报, 2002(6): 1119—1122.
CHEN Jun, ZHANG Xiang, RUAN Xue-yu. Research of Couple of Key Techniques in Numerical Simulation of 3D Metal Extrusion Processes[J]. The Chinese Journal of Nonferrous Metals, 2002(6): 1119—1122.
- [12] 段园培, 张海涛, 黄仲佳, 等. 基于 DEFORM-3D 的支撑销冷挤压成形数值模拟[J]. 热加工工艺, 2013, 42(9): 125—127.
DUAN Yuan-pei, ZHANG Hai-tao, HUANG Zhong-jia, et al. Numerical Simulation on Cold Extrusion of Support Pin Based on DEFORM-3D[J]. Hot Working Technology, 2013, 42(9): 125—127.