

汽车变速器结合齿温锻-冷整形复合精锻工艺及模具研究

张驰, 何巧, 骆静, 白梅

(重庆理工大学 材料科学与工程学院, 重庆 400054)

摘要: 目的 解决汽车变速器结合齿整体成形过程中的难充满、尺寸精度差、脱模困难等问题。**方法** 对结合齿精锻成形过程进行了数值模拟和工艺参数的优化, 并对比模拟分析了结合齿齿高和齿厚方向的15组数据。**结果** 得出了最佳的齿高和齿厚方向余量, 分别为0.5 mm和0.1 mm; 采用镶块剖分式模具结构和径向挤压成形技术来解决结合齿倒锥成形和脱模等问题, 延长了模具寿命。**结论** 采用温锻-冷整形复合精密锻造工艺, 结合齿的表面质量好, 产品精度高。

关键词: 结合齿; 数值模拟; 整体精锻; 成形工艺

DOI: 10.3969/j.issn.1674-6457.2014.01.002

中图分类号: TG316.1

文献标识码: A

文章编号: 1674-6457(2014)01-0009-06

Compound Precision Forging of Warm Forging-cold Shaping and Die for Automatic Transmission Conjunction Gear

ZHANG Chi, HE Qiao, LUO Jing, BAI Mei

(School of Material Science&Engineering, Chongqing University of Technology, Chongqing 400054, China)

ABSTRACT: **Objective** To solve the problems of being not fully filled, low dimensional accuracy and demolding difficulty in the integrated forging of automatic transmission conjunction gear. **Methods** Numerical stimulation(Deform) was carried out in the precision forging of conjunction gears and the technological parameters were optimized. Fifteen groups of data of the tooth height and thickness were stimulated and contrast analyzed. **Results** The optimal allowances for the tooth height and thickness were respectively 0.5 mm and 0.1 mm by Deform simulation. Problems in the forming of back taper teeth of conjunction gear and demolding were solved by using the die structure of insert blocks and radial extrusion technology, and the tooling life was prolonged. **Conclusion** Compound precision forging of warm forging-cold shaping could produce conjunctions gears with high dimensional accuracy and good surface finishing.

KEY WORDS: conjunction gear; numerical simulation; precision forging; cold shaping

汽车变速器结合齿又称带离合器齿轮的斜齿传动齿轮, 用于汽车变速器的传动、换档, 使换档传动产生不同种级差。结合齿由于齿形精度要求高($IT7$ 级), 且齿形有一个倒锥, 因此采用整体精锻工艺成形较为困难, 且难于出模^[1-4]。传统的结合齿倒锥角均采用插齿机切屑加工方法来实现, 这种方法生

产效率低、产品精度差, 齿根部易产生应力集中, 金属流线容易被切断, 使其强度明显降低; 且必须有退刀槽, 增加了变速器的轴向尺寸和重量, 其适用性受到了限制。当汽车变速换档时, 结合齿遇到很大的冲击力, 时常出现打齿而挂不上档的现象。由于制造技术的制约, 国内很多厂家采用把整体结合齿

(如图 1 所示)分解成为两部分,即将齿体与结合圈分别加工出来,然后进行成形和机加工,最后压装在一起(如图 2 所示)。该工艺工序多,成本高,产品使用性能差且寿命短。欧美等发达国家采用的是结合齿整体精锻工艺,其产品精度高,使用性能好。

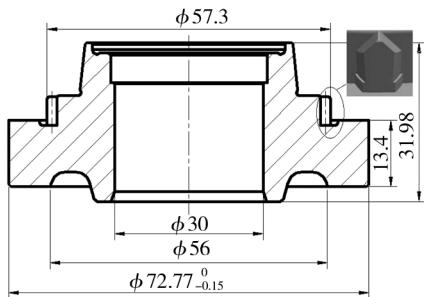


图 1 整体式结合齿

Fig. 1 Integrated conjunction gear

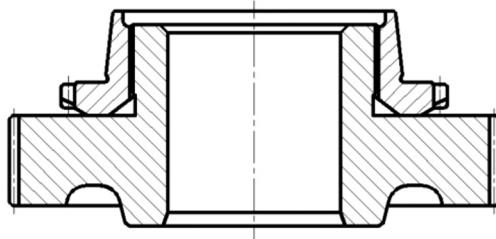


图 2 压装式结合齿

Fig. 2 Conjunction gear that assembles gear body with spline tooth circle

文中借助 Deform 有限元分析软件,针对结合齿整体成形中的难充满、尺寸精度差以及脱模困难等难点,进行了数值模拟和工艺参数的优化,提出了采用镶块剖分式模具结构和径向挤压成形技术来解决结合齿倒锥成形和脱模难题。该技术对生产实际有较高的指导意义。

1 结合齿精锻工艺方案优化

结合齿整体锻件如图 3 所示,锻件材料为 20CrMnTi。结合齿整体精锻工艺采用冷温结合方式^[5-8],其主要流程:下料→预成形→温锻齿坯→软化退火、磷化、皂化处理→冷精整齿形→径向挤压倒锥齿。

传统结合齿锻造过程通常采用热锻工艺,工序如图 4 所示。

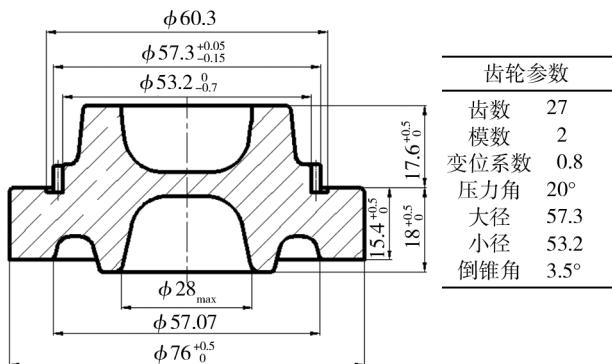


图 3 结合齿锻件图

Fig. 3 Sketch of forging part

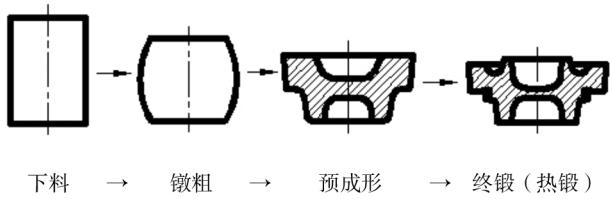


图 4 传统热锻方案主要工序

Fig. 4 The process of traditional hot forging

由于温锻时锻件精度较高、氧化少,金属内在组织好等优点,因此设计了温锻工艺,工序如图 5 所示。

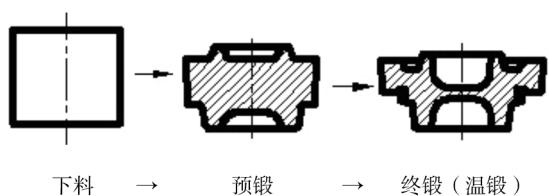


图 5 温锻方案主要工序图

Fig. 5 The process of warm forging

采用热锻工艺时,材料利用率低,且锻件表面质量差^[9];采用温锻工艺时,工序较少,制造成本低,锻件的质量好,且降低了废品率。温锻时的等效应力与等效应变的分布情况如图 6 和 7 所示。

从等效应力分布情况可以看出,等效应力最大值为 330 MPa,最小值为 16.9 MPa,且最大值集中在齿坯底部凹槽与纵向飞边处,在齿形处应力分布均匀;从等效应变分布情况可以看出,等效应变最大值为 5.19 mm/mm,最小值为 0.441 mm/mm,金属变

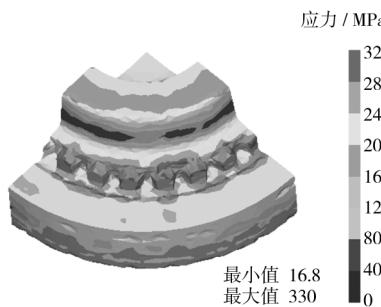


图 6 等效应力分布云图

Fig. 6 The equivalent stress distribution nephogram

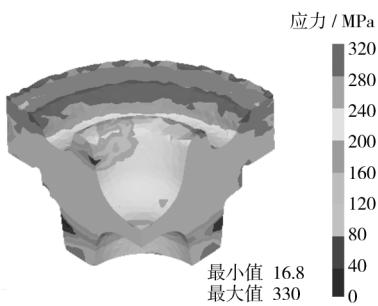


图 6 等效应力分布云图

Fig. 6 The equivalent stress distribution nephogram

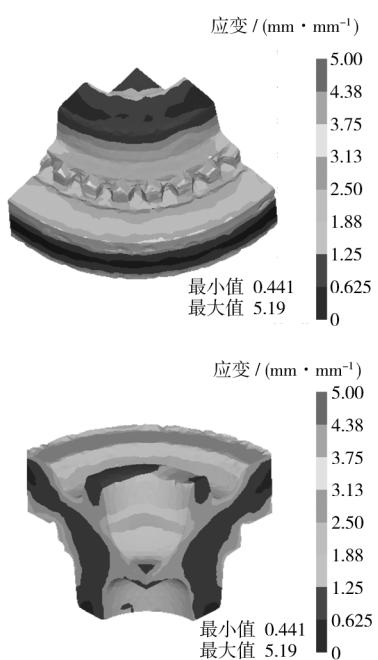


图 7 等效应变分布云图

Fig. 7 The equivalent strain distribution nephogram

形量较小。在成形载荷方面(图 8 和图 9),预成形时的成形力大约为 340 t,终锻时成形力近 400 t。

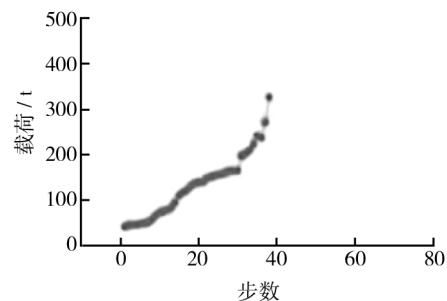


图 8 预锻成形载荷

Fig. 8 The load of pre-forging

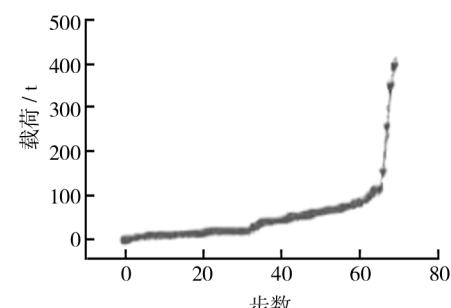


图 9 终锻成形载荷

Fig. 9 The load of final forging

2 结合齿冷精整优化

冷精整工艺是结合齿成形中的重点,主要反映的技术参数是齿顶和齿尖的充填饱满程度。齿形的冷精整通常可以采用 2 种方式,即挤压方式和镦粗方式^[10-12]。以挤压方式精整时,齿坯的齿形轮廓大于精整模具的齿形轮廓,故虽然成形载荷相对较小,但毛坯在模具型腔中的定位较困难;以镦粗方式精整时,齿坯齿部完全进入模具,通过上模施加压力对齿形镦粗整形,由于齿坯的齿形轮廓小于精整模具的齿形轮廓,其间的间隙需要足够的材料来填充,所以在温锻齿坯时,应使结合齿齿高高于齿坯定位端面一定距离,才能得到合格锻件。结合齿齿高出齿坯定位端面的距离,以及齿厚方向应预留的余量,应该以齿坯上单个齿的体积不小于精整模具齿形型腔的体积为标准。齿坯上单个齿的体积过小会导致精整后齿形充填不满,体积过大造成模具应力过大,模具寿命缩短。采用镦粗方式来实现齿形的冷精整,为了准确把握齿厚方向与齿高方向的预留余量(示意图如图 10 所示),对几组不同参数进行了

数值模拟, 模拟结果见表 1。从表 1 中可以看出, 当齿高和齿厚方向上的余量分别取 0.5, 0.1 mm 时, 齿形精整效果最佳, 模拟结果如图 11 所示, 此时, 精整力大约为 600 t。

表 1 齿形精整模拟情况

Table 1 The simulation of rectifying the gears

齿厚余量 b/mm	齿高余量 a/mm				
	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6
0.1	齿顶局部未充满	齿顶局部未充满	基本充满	充满, 余料适中	余料过多
0.2	各方向均未充满	各方向均未充满	齿根未充满	齿根未充满	齿根未充满
0.3	各方向均未充满	各方向均未充满	齿根未充满	齿根未充满	齿根未充满

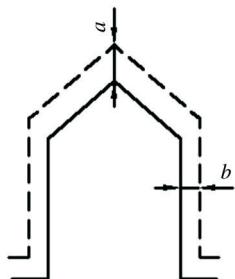


图 10 预留余量示意

Fig. 10 The schematic diagram of reserved allowance

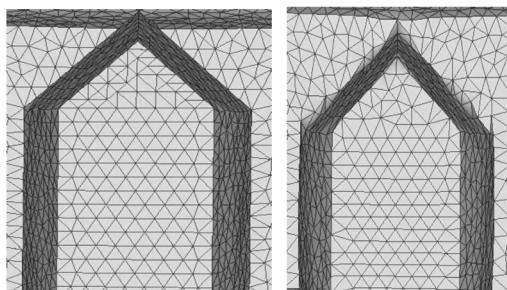


图 11 精整前后的齿形效果对比

Fig. 11 Gear profiles before and after rectifying

3 结合齿倒锥径向挤压成形工艺优化及模具设计

整体精锻结合齿必须要解决倒锥齿的加工问题, 采用镶块剖分式模具结构(如图 12 所示)和径向挤压成形技术能很好地解决这个问题^[13]。该模具结构简单、操作更换方便、加工成本低、精度高, 比

传统的插齿机切屑加工倒锥齿有显著的进步。

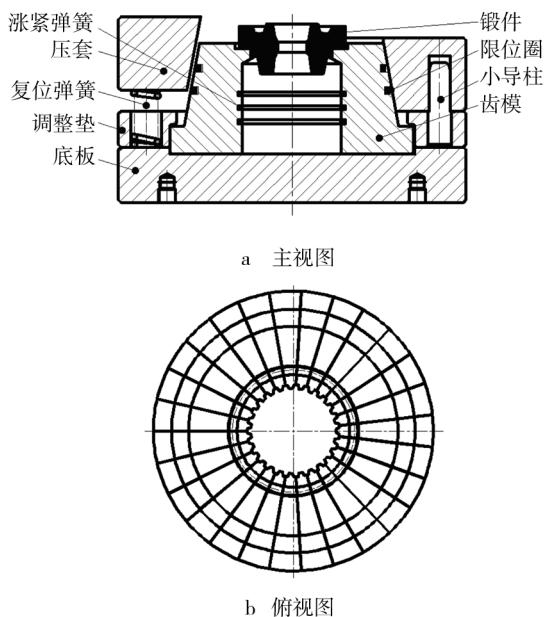


图 12 模具结构

Fig. 12 Mold structure

该模具结构最关键的是齿模部分, 它直接影响到倒锥成形效果的好坏。根据该模具的特点, 设计出一种带倒锥齿形的型腔(如图 13 所示), 利用型腔左右两侧边缘挤压单个齿的两侧, 使其成形倒锥。该方案使两块齿模相邻之处是两齿之间的间隙, 而非齿面, 这可以保证齿面的整洁与光滑, 多余的金属也能很好地从齿根部流出, 不影响零件外形尺寸和性能要求。最终成形时齿的形状如图 14 所示。

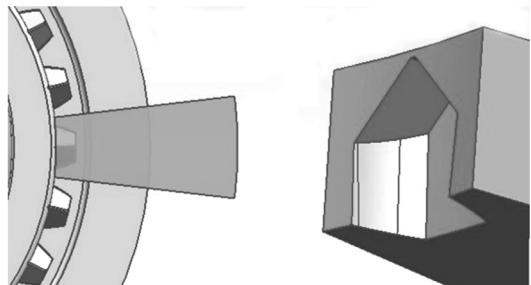


图 13 径向挤压成形倒锥的型腔

Fig. 13 The cavity of back taper formed by radial extrusion

通过数值模拟进一步分析该方案的等效应力、等效应变、载荷等情况, 从图 15 看出, 该方案的等效应力、等效应变主要分布在两齿之间和齿根部位; 从图 16 看出, 该倒锥成形力大约为 180 t。

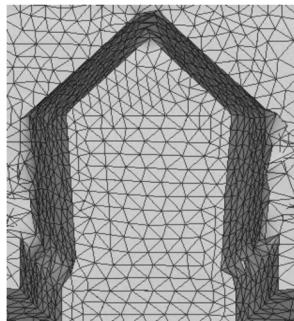


图 14 最终成形时齿的形状

Fig. 14 Shape of gear after final forging

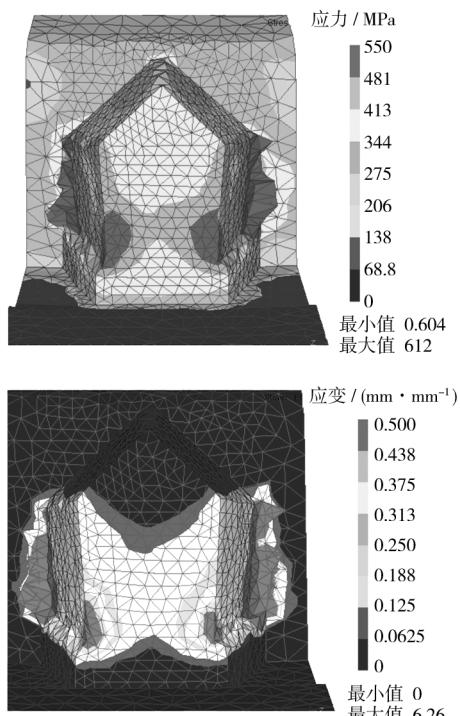


图 15 等效应力、应变分布

Fig. 15 The contours of equivalent stress and strain

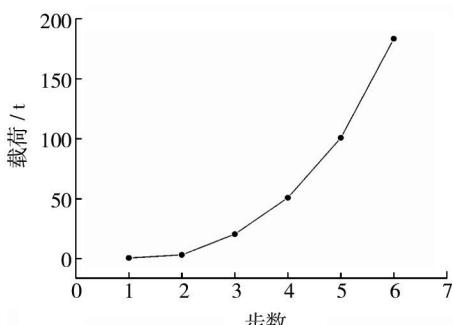


图 16 齿模成形载荷

Fig. 16 The load of tooth forming

4 结论

1) 采用温锻-冷整形复合精密锻造工艺,解决了结合齿整体成形难充满、尺寸精度差等问题,结合齿采用温锻成形,具有表面质量好,产品精度高,使用性能好等优点。

2) 温锻工艺成功地应用于了结合齿整体成形。

3) 通过对结合齿齿高和齿厚方向的 15 组数据做对比模拟分析,得出最佳的齿高和齿厚方向余量分别为 0.5 mm 和 0.1 mm。

4) 设计出了一种镶块剖分式模具结构,该模具结构所需的成形力较小,有利于延长模具寿命,而且便于模具的维修与更换。

参考文献:

- [1] 伍太宾. 精密锻造成形技术在我国的应用[J]. 精密成形工程, 2009, 1(2):12—18.
WU Tai-bin. Present Utilization State of the Precision Forging Technology in China [J]. Journal of Netshape Forming Engineering, 2009, 1(2):12—18.
- [2] 张驰,田平. 齿形零件(近)净成形技术[J]. 现代制造工程,2005(3):24—26.
ZHANG Chi, TIAN Ping. Near Net-shape or Net-shape Technology for the Part with Gear Shape [J]. Modern Manufacturing Engineering, 2005(3):24—26.
- [3] 邱晓忠. 结合齿整体精锻成形技术研究[J]. 新技术新工艺,热加工技术,2003(6):27—28.
QIU Xiao-zhong. Research on Integrative Forging Forming of Conjunction Gear [J]. Hot Working Technology, 2003(6):27—28.
- [4] 吴紫光,张驰,徐博. 差速器行星齿轮闭塞锻造成形工艺优化[J]. 中国材料科技与设备,2007(6):99—100.
WU Zi-guang, ZHANG Chi, XU Bo. Optimize the Process of Closed-die Forging of Bevel Gear [J]. China Material Technology and Equipment, 2007(6):99—100.
- [5] 赵春雨,孟宪举,李军. 齿轮坯模锻成形过程的数值模拟及优化[J]. 精密成形工程, 2010, 2(6):24—28.
ZHAO Chun-yu, MENG Xian-ju, LI Jun. Gear Blank Forging Forming Process Simulation and Optimization [J]. Journal of Netshape Forming Engineering, 2010, 2(6):24—28.
- [6] 杨继章,孙建军,王薇,等. 高轮廓齿轮毛坯的模锻成形工艺及模具设计[J]. 精密成形工程, 2012, 4(3):

- 67—70.
- YANG Ji-zhang, SUN Jian-jun, WANG Wei, et al. Die Forging Technology and Mold Design of High Hub Gear Blank [J]. Journal of Netshape Forming Engineering, 2012, 4(3):67—70.
- [7] HU C L. A Novel Cold Precision Forging Process of Spur Gear with Boss and Its Numerical Simulation[J]. Journal of Shanghai Jiaotong University, 2009, 43(9):1494—1497.
- [8] ZHANG Q, CUI H, WANG Y. Process Design for Cold Precision Forging of Bevel Gear[C]. In 2010 International Conference on Digital Manufacturing and Automation, ICDMA 2010 Changsha: IEEE Computer Society, 2010.
- [9] MAE Y, P POONNAYOM, A WONGKRAJANG. Wear Mechanism of Hot Forging Die from the Viewpoint of Diffusion [J]. Journal of Materials Engineering and Performance, 2008, 18(1):16—20.
- [10] 万贤毅, 虞跃生, 唐忠杰. 汽车变速器齿轮整体精锻成形工艺研究[J]. 汽车工艺与材料, 2002(2):6—8.
- WAN Xian-yi, YU Yue-sheng, TANG Zhong-jie. Study on the Precision Forging Process of Automotive Transmission Gear [J]. Automobile Technology & Material, 2002 (2):6—8.
- [11] ZHANG C, X SHANG, R XIANG. Study on Cold Extrusion Process and Die for Vehicle Sleeve Gear with Spline[C]. In 2nd International Conference on Manufacturing Science and Engineering, ICMSE 2011, April 9, 2011—April 11. Guilin: Trans Tech Publications, 2011.
- [12] LI F. Research of Metal Flow Behavior during Extrusion with Active Friction[J]. Journal of Materials Engineering and Performance, 2007, 17(1):7—14.
- [13] WANG W, HAN F, LUO S. Study of the Precision Forging of an Impeller by Numerical Simulation and Test Forming [C]. In Semi-Solid Processing of Alloys and Composites 10—Selected, Peer Reviewed Papers from the 10th International Conference on Semi-Solid Processing of Alloy and Composites, S2P200. Aachen, Germany: Trans Tech Publications Ltd, 2008.

(上接第 8 页)

- [7] 曹洋, 康凤, 赵祖德. 旋转锻造技术的数值模拟仿真[J]. 锻压装备与制造技术, 2005, 40(6):35—39.
- CAO Yang, KANG Feng, ZHAO Zu-de. The Simulation of the Rotation Forging of the Body Pipe [J]. China Metal-forming Equipment & Manufacturing Technology, 2005, 40 (6):35—39.
- [8] 韩星会, 华林, 胡亚民. 轴类零件径向锻造压入量研究[J]. 锻压设备与制造技术, 2006(6):75—78.
- HAN Xing-hui, HUA Lin, HU Ya-min. Research on Radial Feed Quantity of Shaft Parts in Radial Forging [J]. China Metalforming Equipment & Manufacturing Technology, 2006(6):75—78.
- [9] 樊黎霞, 刘力力, 刘庆东, 等. 身管线膛精锻加工过程的数值分析[J]. 兵工学报, 2009, 30(8):1098—1102.
- FAN Li-xia, LIU Li-li, LIU Qing-dong, et al. The Numerical Simulation of the Precision Radial Forging Processing of the Gun Barrel [J]. Acta Armamentarii, 2009, 30(8):1098—1102.
- [10] 樊黎霞, 王贺, 王志刚. 身管膛线精锻成形金属流动与变形分析[J]. 精密成形工程, 2013, 5(1):20—24.
- FAN Li-xia, WANG He, WANG Zhi-gang. Analysis of Metal Flow in Radial Forging Process for Barrel Rifling [J]. Journal of Netshape Forming Engineering, 2013, 5 (1):20—24.
- [11] 刘力力, 樊黎霞, 徐诚. 身管冷径向锻造残余应力的模拟研究[J]. 兵工学报, 2012, 33(11):1291—1297.
- LIU Li-li, FAN Li-xia, XU Cheng. Simulation Study on Residual Stress in Cold Radial Forged Barrel [J]. Acta Armamentarii, 2012, 33(11):1291—1297.
- [12] LIU Li-li, FAN Li-xia. Study of Residual Stresses in the Barrel Processed by the Radial Forging[C]. The second International Conference on Information and Computing Science, 2009, 4:131—134.
- [13] LIU Li-li, FAN Li-xia, DONG Xue-hua. Experimental Study of the Mechanical Property of Barrel Processed by Cold Radial Forging [J]. Journal of Beijing Institute of Technology, 2012, 21(4):453—459.
- [14] 王志刚. 身管径向锻造工艺解析分析与数值模拟[D]. 南京:南京理工大学, 2011.
- WANG Zhi-gang. Analytical Method and Numerical Simulation on Radial Forging Process of Barrel [D]. Nanjing: Nanjing University of Science & Technology, 2011.
- [15] 王贺. 身管内膛精锻加工过程解析模型建立及实验验证[D]. 南京:南京理工大学, 2013.
- WANG He. Establishment about the Analytic Model and Experimental Verification in the Precision Radial Forging Process of the Barrel Rifling [D]. Nanjing: Nanjing University of Science & Technology, 2013.