

基于 DeForm-3D 冷缩径过渡锥面冷整形工艺研究

刘百宣¹, 王瑞², 覃寿同¹, 刘华³

(1. 郑州大学, 郑州 450001; 2. 河南师范大学 新联学院, 郑州 451464;

3. 郑州机械研究所, 郑州 450001)

摘要: **目的** 主要研究轴类件冷缩径后过渡锥面整形时, 整形圆角 R 、变形量 ε 以及约束条件对整形效果的影响, 及整形成功的可行性。 **方法** 通过选择不同的圆角 R 值、变形量 ε 值和约束条件, 利用 DeForm-3D 有限元模拟软件, 对整形过程进行模拟分析, 探究了几个参数对整形效果的影响。 **结果** 模拟结果获得了整形圆角 R 、变形量 ε 以及约束条件对整形效果的影响规律, 发现在开式挤压下, 整形圆角 R 为影响整形效果的主要参数; 在半开式挤压下, 变形量 ε 为影响整形效果的主要参数。 **结论** 开式挤压整形时 R 值的影响比较显著, 在小 R 值的情况下, 开式挤压整形不可行, 而在 R 值达到锥面上下段直径的差值 0.5 倍以上时, 整形可行。半开式挤压整形, 主要影响因素为缩径总变形量 ε , 在总变形量 ε 小于 35% 时, 整形可行, 当 ε 大于 35% 时半开式整形基本不可行。

关键词: 冷缩径; 锥面; 整形工艺; 有限元分析

DOI: 10.3969/j.issn.1674-6457.2015.01.011

中图分类号: TG306

文献标识码: A

文章编号: 1674-6457(2015)01-0056-05

Cold Reshaping Process of Ironing Cone Based on DEFORM-3D

LIU Bai-xuan¹, WANG Rui², QIN Shou-tong¹, LIU Hua³

(1. Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China;

2. Xinlian College of Henan Normal University, Zhengzhou 451464, China;

3. Zhengzhou Research Institute of Mechanical Engineering, Zhengzhou 450001, China)

ABSTRACT: To investigate the influence of reshaping fillet R , the reduction ε and the constraint condition during cold reshaping of ironing cone, and the possibilities of reshaping success. Through choosing different values of fillet R , reduction ε and different constraint conditions, the reshaping process was analyzed using the finite element software DeForm-3D, and the influence of several parameters on the reshaping effect was studied. The influence law of the fillet R , the reduction ε and the constraint condition on the reshaping effect was obtained by simulation. It was found that in open die extrusion, the main parameter influencing the reshaping effect was the fillet R , while in semi-open die extrusion, the main parameter influencing the reshaping effect was the reduction ε . The influence of fillet R was significant in open die extrusion. Open die extrusion reshaping was infeasible when the value of fillet R was small, and was feasible when the value of fillet R was larger than 0.5 times of the difference in cone diameters of the upper and lower sections. The main influence factor was the I-

收稿日期: 2014-11-21

基金项目: 国家高技术研究发展计划(863)计划(2012AA040202)

作者简介: 刘百宣(1973—), 男, 河南杞县人, 硕士, 主要研究方向为精密塑性成形工艺及装备。

通讯作者: 覃寿同(1957—), 男, 河南人, 副教授, 主要研究方向为精密及超精加工、机械虚拟制造技术, 以及围绕主方向的制造过程数字化描述及计算机辅助工艺设计、先进制造工艺与技术等。

ironing reduction ε in semi-open die extrusion reshaping. The reshaping was feasible when the value of the ironing reduction ε was smaller than 35%, and was basically infeasible when the value of the ironing reduction ε was larger than 35%.

KEY WORDS: cold ironing; cone; reshaping process; finite element analysis

金属冷缩径技术具有成形力小、模具结构简单、模具寿命高、成形尺寸精度高等优点,在各类轴类件的冷精密成形工艺中获得广泛应用。冷缩径工艺不仅可以实现单道次小变形量阶梯成形,而且可以通过多道次缩径获得大变形量的阶梯成形。关于冷缩径的变形量及变形力的研究已比较充分^[1-8],其变形量及变形力均比常规的冷挤压要小很多,因此可以获得较高的零件尺寸精度。但因其工艺特点,冷缩件上一定存在锥形过渡区,除个别场合外,一般都需要用切削的方法将其去除掉。如果能通过整形工艺将锥形过渡区消除,便可进一步接近零件形状,做到无切削加工。

裴未迟等^[9]对变形量小于5%台阶轴,提出了直接用圆角一次挤压成形的工艺,并用有限元模拟技术和试验的方法验证了其可行性。张双杰等^[10-11]对直径变形量不大于10%并以小圆角过渡的电机轴,提出了两步法挤压成形的工艺,并采用有限元技术验证了该工艺方案的可行性。

虽然不少学者对轴类件的冷缩径成形进行了研究,但对较大变形量缩径过渡锥面的整形工艺研究,仍不够充分和深入。因此,对缩径过渡锥面整形工艺进行更深入的研究,使轴类件冷精密成形件形状进一步接近零件形状,具有重要意义。

本文拟利用 DeForm-3D 有限元模拟软件,针对较大变形量缩径过渡锥面的整形问题,从变形量、过渡圆角以及约束条件等几个方面进行研究,研究其成形的规律及整形工艺的可行性。

1 整形工艺示意图

图1为缩径过渡锥面整形示意图,图1a为开式挤压;图1b在整形R角上部加一圆柱孔,圆孔直径略大于 d_0 ,用于限制整形时变形部位的镦粗,文中称之为半开式挤压。图中坯料为冷缩径后的形状,坯料中 d_0 直径的部分在整形过程中起到冲头作用,为不变形部分; d_1 部分在整形过程中只做刚性移动不参与变形, 2α 锥面部分为整形变形区域。整形时坯料在冲头压力的作用下下行,使缩径过渡锥面产生变形,最终变为凹模设定的形状^[12-13]。

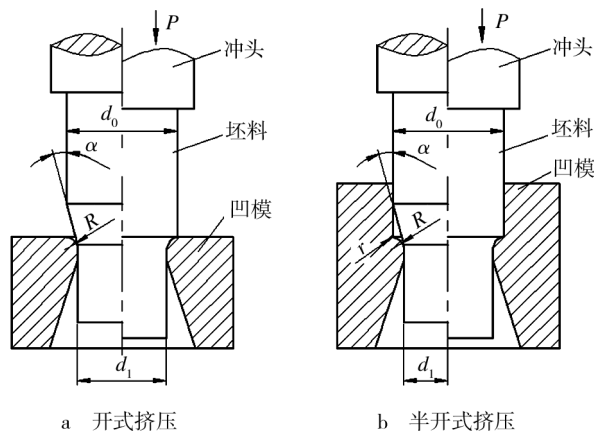


图1 缩径过渡锥面整形示意图

Fig. 1 Schematic drawing of ironing cone reshaping

2 DeForm 有限元模拟

2.1 模拟方案的制订

在锥面的整形过程中影响成型的主要参数有图1所示的 R 值、缩径角 α 、缩径变形量 ε 以及约束条件(开式或半开式)。考虑到缩径的直径差值及节材的实际意义,变形量分别取20%,30%,35%,40%,每种变形量下 R 值分别取 d_0-d_1 差值1/4倍、1/2倍、1倍。为了便于与开式挤压比较,图1b中的 r 值取0.5,缩径角 α 统一取15°,坯料与模具的初始位置由上述变形程度的锥面位置决定。

上述缩径变形量可表示为^[14]:

$$\varepsilon = \frac{d_0^2 - d_1^2}{d_0^2} \times 100\%$$

其中35%,40%的变形量为两次或多次缩径产生的总变形量。

2.2 模拟参数

成形过程均为冷挤压,温度变化影响很小,因此数值模拟过程中不考虑热的影响,坯料、凸模与凹模设为20℃;坯料为20号钢;由于挤压属于体积成形,接触压力高,故采用剪切摩擦模型,摩擦因数为0.12;模具设定为刚性,坯料设定为刚粘塑性模型。有限元模型通过三维软件Solidworks 2013软件建模,生成*.stl后导入DeForm-3D有限元模拟软件,

模型中设定 $d_0 = 35\text{ mm}$, d_1 根据变形量计算确定。网格划分数 80000, 凸模进给速度 6 mm/s, 模拟步数锥面长度 5 mm, 模拟步长 0.1^[15-18]。其有限元模型如图 2 所示。

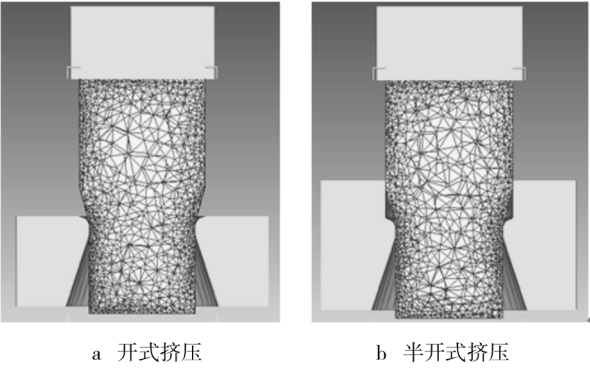


图 2 缩径过渡锥面整形有限元模型
Fig.2 FE model of ironing cone reshaping

2.3 模拟结果及分析

2.3.1 开式挤压整形结果

图 3 所示为开式挤压整形有限元模拟结果,从

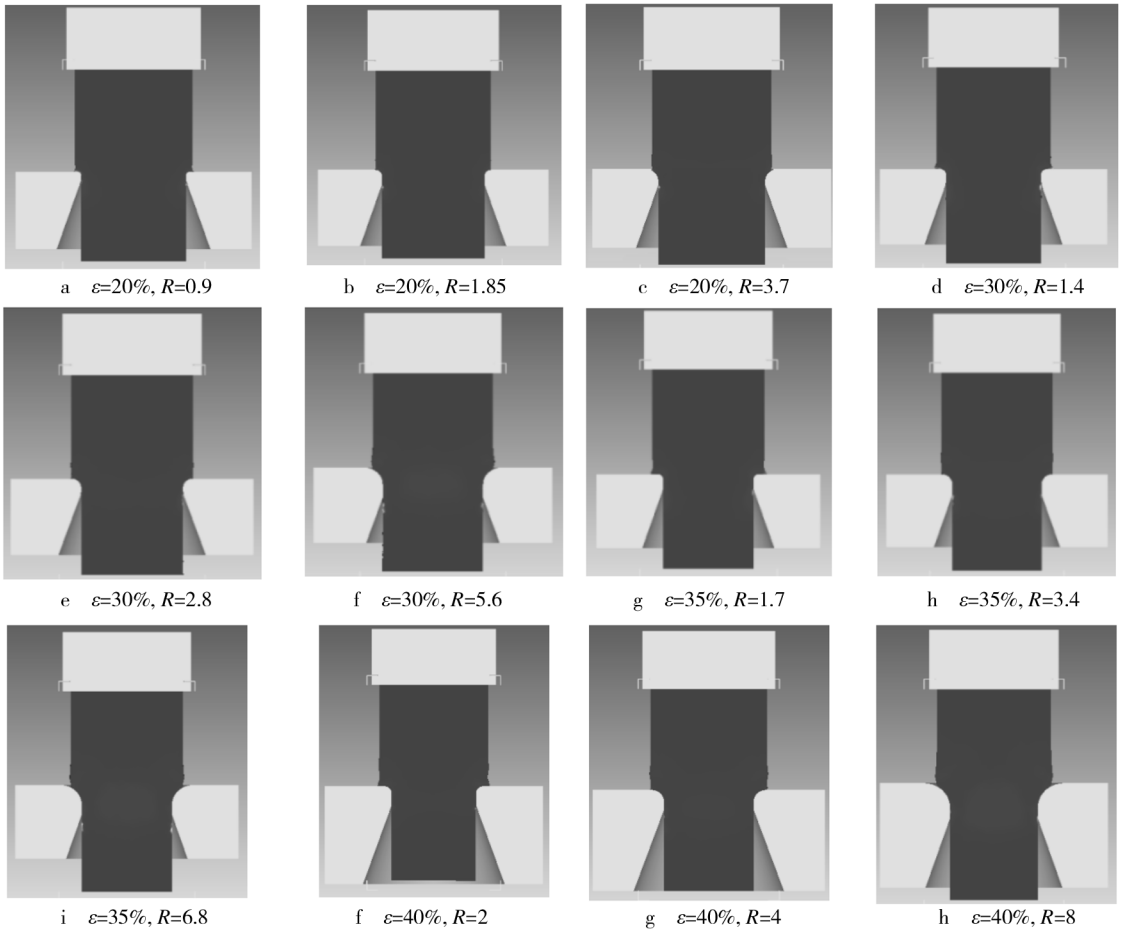


图 3 开式挤压整形有限元模拟结果
Fig.3 Simulation results of open die cold extrusion

图中可以看出四种变形量下 R 值的影响比较显著, 在 R 值为 d_0-d_1 差值的 1/4 倍时, 即 R 值较小时均出现金属撻起现象, 并在撻起的金属堆积处上方锥面不能有效变形, 形成凹腰现象; 在 R 值为 d_0-d_1 差值为 1/2 倍时, 即 R 值适中时, 随着变形量的增大, 变形区形状出现局部凸起和凹腰现象越加明显, 而在变形量 $\varepsilon=20\%$ 时, 可形成较完好的形状; 在 R 值为 d_0-d_1 差值的 1 倍, 即 R 值较大时, 4 种变形量下均出现变形区上部墩粗鼓起现象, 无凹腰形成。

2.3.2 半开式挤压整形结果

图 4 所示为半开式挤压整形有限元模拟结果, 从图中可以看出在变形区设置一约束, 可以有效改善成形效果, 而影响整形最终填充效果的主要因素为变形量 ε 值, 当 ε 值为 20%、30% 时均可有效成形; 当 ε 值为 35% 时, 从模拟结果来看在 R 值较小的情况下, 可有效成形, 随在 R 值的增大, 需要在 d_0 略微产生墩粗变形的情况下, 才能完全填充; 而当 ε 值为 40% 时, 在 3 种 R 值下, 均出现 R 处未充满 d_0 墩粗现象, 不能有效成形。

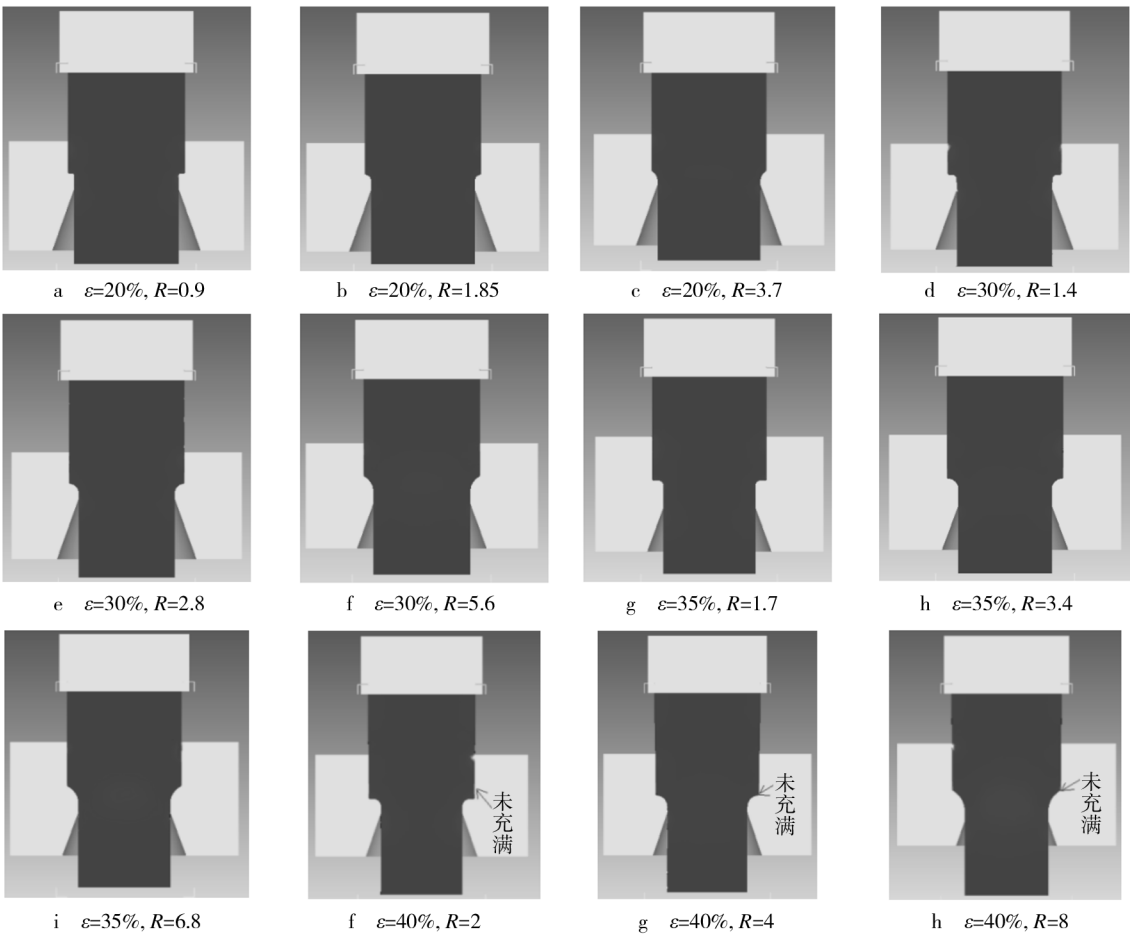


图 4 半开式挤压整形有限元模拟结果

Fig. 4 Simulation results of semi-open die cold extrusion

2.3.3 分析和讨论

综上模拟结果,在开式挤压整形的情况下,对整形效果的影响 R 值较 ε 值显著,最理想的效果出现在 $\varepsilon=20\%$, $R=(d_0-d_1)/2$ 的情况下,可见在较小变形量并 R 值适中的情形,完全可以通过开式挤压对缩径过渡锥面进行整形。在较小变形量并 R 值较大的情形,出现的局部凸起和凹腰现象,可通过对 d_0 段进行一次精整来消除。而在 R 值较小的情况下,开式挤压整形不可行。在 R 值较大的情况下,出现的变形区上部墩粗鼓起现象,亦可通过对 d_0 段进行一次精整,来消除鼓起,故在 R 值较大的情况下,开式挤压整形可行。

在半开式挤压整形的情况下,整形效果主要受 ε 值的影响,在 ε 值为 35% 以下时,3 种 R 值均可成形出较好的整形效果,当 ε 值为 35% 及大于 35% 时,整形填充出现困难,因此由此可以看出,在缩径零件总变形量在 35% 以下时均可通过半开式挤压进行整形,而当总变形量超过 35% 时,此种方法不可行。

3 实际应用

图 5 为结合冷缩径及整形工艺生产的一个产品,因其整形部位缩径过渡锥面为两次缩径形成,其总变形量达到 40%,而圆角的 R 值大于 d_0-d_1 差值

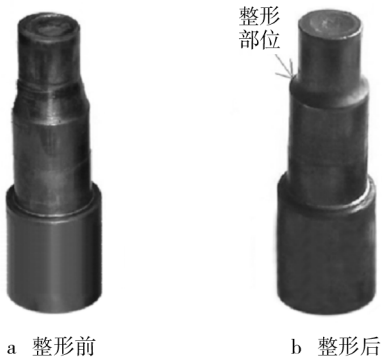


图 5 实际生产样件

Fig. 5 Actual production samples

的1倍为10 mm,故根据上述模拟及讨论结果,采用了开式整形加精整消除镦粗鼓起工艺。实际生产在315 t四柱液压机上进行,锻件材质为20号钢,成形的锻件基本接近零件形状,已进行了大批量生产,并生产稳定可靠。

4 结论

利用DeForm-3D有限元模拟软件对冷缩径过渡锥面开式和半开式整形工艺进行了分析研究,并就研究结果进行了实际生产应用。由此可得出如下结论:

1) 影响整形效果的主要参数有整形过渡圆角 R 、缩径总变形量 ε 和变形部位的约束条件(开式和半开式)。

2) 开式挤压整形时 R 值的影响比较显著,在 R 值为 d_0-d_1 差值的1/4倍时,即 R 值较小的情况下,开式挤压整形不可行。在 R 值为 d_0-d_1 差值的1/2倍和1倍时,即 R 值适中或较大时,整形可行,但随着 R 值及变形量 ε 的增大,需对 d_0 段进行事后精整。

3) 半开式挤压整形,主要影响因素为缩径总变形量 ε , R 值影响较小。在总变形量 ε 小于35%时,皆可实现良好的整形效果,当 ε 大于35%时半开式整形基本不可行。

参考文献:

- [1] 王华君,夏巨谌,胡国安. 减径挤压工艺成形极限分析[J]. 模具技术,2005(3):3—6.
WANG Hua-jun, XIA Ju-chen, HU Guo-an. Analysis of the Forming Limit of Ironing Process[J]. Die and Mould Technology, 2005(3):3—6.
- [2] 李军,韩鹏彪. 开式冷挤压成形极限变形程度的理论及实验研究[J]. 塑性工程学报,2000,7(1):31—34.
LI Jun, HAN Peng-biao. Theoretical and Experimental Study on Maximum Reduction of Open-die Cold Extrusion[J]. Journal of Plasticity Engineering, 2000,7(1):31—34.
- [3] 李军,高小会,周祥. 实心轴开式冷挤压中挤压力的计算[J]. 河北联合大学学报,2012,34(1):23—26.
LI Jun, GAO Xiao-hui, ZHOU Xiang. Calculation of Extrusion Pressure during Open-die Cold Extrusion of Solid Shaft[J]. Journal of Hebei United University, 2012,34(1):23—26.
- [4] 邓陶勇,胡成亮,刘全坤. 工艺参数对减径挤压的影响[J]. 锻压装备与制造技术,2006,41(4):48—50.
DENG Tao-yong, HU Cheng-liang, LIU Quan-kun. Influence of Technological Parameter on Ironing[J]. China

Metal Forming Equipment & Manufacturing Technology, 2006,41(4):48—50.

- [5] 胡启,金俊松,王新云,等. 阶梯轴多工步缩径挤压成形工艺研究[J]. 锻压技术,2014,39(2):68—72.
HU Qi, JIN Jun-song, WANG Xin-yun, et al. Study on Multi-step Ironing Process of Multi-diameter Shaft[J]. Forging & Stamping Technology, 2014,39(2):68—72.
- [6] 徐伟,夏巨谌,胡国安,等. 轿车变速箱轴类件多工位冷精锻工艺及模具研究[J]. 锻压技术,2007,32(4):33—36.
XU Wei, XIA Ju-chen, HU Guo-an, et al. Study on Multi-stage Cold Precision Forging Process and Die of the Shaft in Gear-Box[J]. Forging & Stamping Technology, 2007,32(4):33—36.
- [7] 郭永强,徐春国,任广升,等. 挤压缩径工艺中缺陷的研究[J]. 锻压技术,2011,36(2):144—147.
GUO Yong-qiang, XU Chun-guo, REN Guang-sheng, et al. Study on Defect in Extrusion Necking[J]. Forging & Stamping Technology, 2011,36(2):144—147.
- [8] 李伟. 汽车变速箱轴类件多工位冷精锻关键技术研究[D]. 武汉:华中科技大学,2009.
LI Wei. Study on Key Technology of Multistage Cold Precision Forging of the Shaft in Gear Box[D]. Wuhan:Huazhong University of Science and Technology, 2009.
- [9] 裴未迟,张玉强,孟宪举. 基于Deform轴类零件台阶圆角开式冷挤压工艺有限元模拟[J]. 现代制造工程,2011(6):73—75.
PEI Wei-chi, ZHANG Yu-qiang, MENG Xian-ju. Finite Element Simulation For Shoulder Fillet of Shaft Parts In-open-die Cold Extrusion Process Based on Deform[J]. Modern Manufacturing Engineering, 2011(6):73—75.
- [10] 张双杰,刘玉忠,代学蕊,等. 电机轴台阶挤压成形的数值模拟及实验研究[J]. 锻压技术,2009,34(4):99—101.
ZHANG Shuang-jie, LIU Yu-zhong, DAI Xue-rui, et al. Numerical Simulation and Experimental Research on Open-die Cold Extrusion Technology of Electromotor Shaft Shoulder[J]. Forging & Stamping Technology, 2009,34(4):99—101.
- [11] 张双杰,曾富铭,周增宾,等. 阶梯轴台肩圆角冷挤压成形速度场建模研究[J]. 塑性工程学报,2005,12(6):17—19.
ZHANG Shuang-jie, ZENG Fu-ming, ZHOU Zeng-bin, et al. Research on Velocity Filed Modeling of the Multi-diameter Shaft's Shoulder Fillet Forming by Open-die Cold Extrusion[J]. Journal of Plasticity Engineering, 2005,12(6):17—19.

- [4] 朱蕾,宫杰,梅华生. 汽车发动机曲轴断裂失效分析[J]. 精密成形工程,2010,2(5):71—74.
ZHU Lei, GONG Jie, MEI Hua-sheng. Failure Analysis for Fracture of Crankshaft of Automobile Engine[J]. Net-shape Forming Engineering,2010,2(5):71—74.
- [5] 王国凡. 材料成形与失效[M]. 北京:化学工业出版社,2002.
WANG Guo-fan. The Materials Forming and the Failure[M]. Beijing:Chemical Industrial Press,2002.
- [6] 李松瑞,周善初. 金属热处理[M]. 长沙:中南大学出版社,2003.
LI Song-rui, ZHOU Shan-chu. Metal Heat Treatment[M]. Changsha:Central South University Press,2003.
- [7] 谢里阳,姜永军. 齿轮失效概率分布的串联系统相关失效模型[J]. 失效分析与预防,2006,1(1):25—27.
XIE Li-yang, JIANG Yong-jun. A Series System Dependent Failure Model for Gear Failure Probability[J]. Analysis Failure Analysis and Prevention,2006,1(1):25—27.
- [8] 张栋,钟培道,陶春虎,等. 失效分析[M]. 北京:国防工业出版社,2004.
ZHANG Dong, ZHONG Pei-dao, TAO Chun-hu. Failure Analysis[M]. Beijing:National Defence Industry Press,2004.
- [9] 陈传尧. 疲劳与断裂[M]. 武汉:华中科技大学出版社,2001.
CHEN Chuan-rao. Fatigue and Fracture[M]. Wuhan:Huazhong University of Science and Technology Press,2001.
- [10] 刘德林,刘高远,李雪. 单向活门组件失效分析[J]. 失效分析与预防,2006,1(4):13—18.
LIU De-lin, LIU gao-yuan, LI Xue. Failure Analysis of Non Return Valve Components[J]. Failure Analysis and Prevention,2006,1(4):13—18.
- [11] 王仁智,吴培远. 疲劳失效分析[M]. 北京:机械工业出版社,1987.
WANG Ren-zhi, WU Pei-yuan. Fatigue Failure Analysis[M]. Beijing:China Machine Press,1987.
- [12] 陈南平,硬守仁,沈万慈. 机械零件失散分析[M]. 北京:清华大学出版社,1988年.
CHEN Nan-ping, YING Shou-ren, SHEN Wan-ci. Mechanical Parts Separated Analysis[M]. Beijing:Tsinghua University Press,1988.
- [13] 曾祥华,田继丰,柯伟等,译. 宏观断口学与显微断口学[M]. 北京:机械工业出版社,1990.
ZENG Xiang-hua, TIAN Ji-feng, KE Wei. Macro Fractography and Micro Fractography[M]. Beijing:China Machine Press,1990.
- [14] LARSSON M, MELANDER A, NORDGREN A. Effect of Inclusions on Fatigue Behavior of Hardened Steel[J]. Materials Science & Technology,1993,9(3):235—245.
- [15] PENG Y H, ZHAO Z, RUAN X Y. KBE Technology in Engineering Design[C]//Proceedings of International Conference on Engineering and Technological Science 2000, Session 1, Beijing:New World Press,2000:94—100.
- (上接第60页)
- [12] 杨长顺. 冷挤压工艺实践[M]. 北京:国防工业出版社,1984.
YANG Chang-Shun. Cold Extrusion Practice[M]. Beijing:National Defence Industry Press,1984.
- [13] 洪深泽. 挤压工艺及模具设计[M]. 北京:机械工业出版社,1996.
HONG Shen-ze. Extrusion Process and Die Design[M]. Beijing:Mechanical Industry Press,1996.
- [14] 洪慎章. 冷挤压实用技术[M]. 北京:机械工业出版社,2005.
HONG Shen-zhang. Practical Technology of Cold Extrusion[M]. Beijing:Mechanical Industry Press,2005.
- [15] 刘百宣,孙红星,刘华. 电力金具球头冷锻成形的数值模拟和试验研究[J]. 锻压技术,2012,37(1):38—41.
LIU Bai-xuan, SUN Hong-xing, LIU Hua. Simulation and Experimental Research of Forging Process for Electrical Fittings Ball[J]. Forging & Stamping Technology,2012,37(1):38—41.
- [16] 刘百宣,孙红星,刘华,等. 基于 DEFORM-3D 的汽车转向器输入轴锻造成形研究[J]. 热加工工艺,2012,41(9):129—131.
LIU Bai-xuan, SUN Hong-xing, LIU Hua, et al. Research on Forging Process for Automotive Steering Input Shaft Based on DEFORM-3D[J]. Hot Working Technology,2012,41(9):129—131.
- [17] 温恩龙,周扬,李蒙. 基于 QFORM 的阶梯轴冷挤压工艺的计算机模拟[J]. 热加工工艺,2010,39(17):110—114.
WEN En-long, ZHOU Yang, LI Meng. Computer Simulation of Cold Extrusion Process for Stepped Shaft Based on QFORM[J]. Hot Working Technology,2010,39(17):110—114.
- [18] 阳鑫,袁玉红,杨宁,等. 阶梯轴挤压工艺设计及数值模拟[J]. 贵州大学学报,2013,30(6):57—60.
YANG Xin, YUAN Yu-hong, YANG Ning, et al. Extrusion Technology Design and Numerical Simulation of Stepped Shaft[J]. Journal of Guizhou University,2013,30(6):57—60.