

锻造

液压支柱柱头复合模锻成形工艺分析研究

田继红, 王庆辛, 刘建生, 李巳甲, 郭丰伟

(太原科技大学 材料科学与工程学院, 山西 太原 030024)

摘要: 通过对液压支柱柱头零件的成形工艺分析, 提出了有别于传统圆钢车削工艺的复合模锻工艺方案, 并采用数值模拟方法研究了两种复合模锻工艺的工艺过程和成形载荷。综合对比结果表明: 与传统切削工艺相比, 复合模锻工艺在材料利用率以及制件质量上有明显优势; 不对称复合模锻效果更优, 但所需设备载荷略大; 在上动压机条件下, 上冲头要比下冲头更容易冲入坯料; 该工艺也得到了后续工程实践的证实。

关键词: 液压支柱; 柱头; 复合模锻; 数值模拟

DOI: 10.13330/j.issn.1000-3940.2014.01.002

中图分类号: TG316.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3940 (2014) 01-0006-05

Research on compound die forging process of hydropost chapter

Tian Jihong, Wang Qingxin, Liu Jiansheng, Li Sijia, Guo Fengwei

(School of Material Technology & Engineering, Taiyuan University of Science & Technology, Taiyuan 030024, China)

Abstract: Through the analysis of hydropost chapter forming process, the compound die forging process scheme was proposed, which is different from the traditional round steel turning process. The forming procedure and load of two compound die forging processes were analyzed by numerical simulation method. The comprehension comparison results show that compared to the traditional turning process, the compound die forging process has obvious advantages in material utilization ratio and product quality; the asymmetric compound die forging process is better, except for a higher equipment load is needed; punching into the blank under the condition of upper action press is easier for upper punch than the lower one and the process is also confirmed by the subsequent engineering practice.

Key words: hydropost; chapter; compound die forging; numerical simulation

DZ型单体液压支柱是煤矿井下支护装备中应用最广的产品之一, 柱头是焊接在活柱筒上用来安装三用阀并承载的关键部件, 也是一个消耗性配件, 柱头零件图如图1所示。由于煤矿井下环境复杂, 采掘工况恶劣, 安全生产要求高, 所以柱头的消耗量非常大, 仅一个中型煤矿一年就能消耗近20万件。

长期以来柱头的生产以轧制圆钢车削为主, 这种生产工艺可基本满足产品性能要求。但车削加工

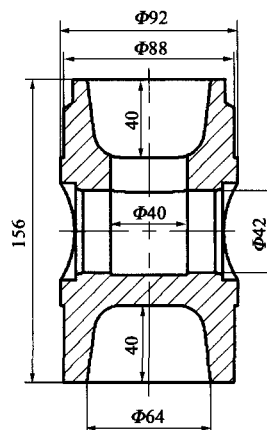


图1 柱头零件图

Fig. 1 Drawing of chapter

工序多, 材料利用率和生产效率均较低, 产品性能质量也不高。关于柱头的生产工艺研究方面, 相关的工作主要集中在如何提高机械加工效率、工装设计改进等方面^[1-3], 邢书明^[4]曾研究了采用挤压铸造技术生产液压阀体的方法, 但该方法也存在着操

收稿日期: 2012-07-27; 修订日期: 2013-09-26

基金项目: 山西省自然科学基金资助项目 (2013011022-3); 山西省研究生优秀创新项目 (20123101); 山西省2013年国家级 & 省级大学生创新创业训练计划 (201310109004, 2013232); 太原科技大学大学生创新创业训练项目 (xj2012021, xj2013072)

作者简介: 田继红 (1971-), 男, 博士, 副教授

E-mail: tykdtjh@126.com

通讯作者: 刘建生 (1958-), 男, 博士, 教授、博导

E-mail: jiansliu@163.com

锻造栏目是由北京异辉机电有限公司赞助刊出

作复杂、模具寿命低、产品缺陷多等缺点，而其他的柱头生产方法未见报道。

模锻是一种少无切削的加工方法，具有节能、节材、高效、质优的优点。用模锻工艺生产柱头，不仅可减少机加工量，提高材料利用率，而且制件内部可形成锻造流线，极大提高其强度性能，从而达到形状和性能的双重要求，符合节能减排、绿色环保的制造要求^[5-8]。

针对柱头的模锻成形，本文提出了两种工艺方案，并采用有限元数值模拟方法进行了分析。结合有限元数值模拟结果对比了这两种工艺案与传统圆钢车削工艺方案的特点，为生产实践提供理论参考。

1 工艺分析

柱头零件为具有复杂形状的异型圆柱，最大直径 $\Phi 92$ mm，长度156 mm，零件上下两端各有一个直径为 $\Phi 64$ mm、深度为40 mm的圆坑，中间有一个直径为 $\Phi 42$ mm的水平通道，上端的圆坑里面还有一个直径为 $\Phi 40$ mm的孔与水平通道相连，粗车后零件单重4.6 kg，传统圆钢车削工艺下料尺寸为 $\Phi 95$ mm \times 161 mm，材料利用率约为51.1%。

相对于原始铸锭而言，轧制圆钢本身已经过一定的初始变形，所以柱头制件的模锻生产主要以成形为目的，可采用以下工艺步骤：轧制圆钢—精确下料—高频少氧化加热—模锻—机械加工，模锻可采用复合冲挤模锻工艺，选用630 t上动压机。而具体模锻方案又可考虑两种：（1）对称复合模锻，制件上下两端对称挤出两个同样的圆坑；（2）不对称复合模锻，制件上端除挤出圆坑外还将直径为 $\Phi 40$ mm的孔也挤出来，而下端只挤出圆坑。两种模锻工艺示意图如图2、图3所示。

2 成形工艺有限元数值模拟

为分析这两种模锻工艺方案，采用有限元数值模拟的分析方法进行了工艺过程分析研究。坯料初始温度设置为1160 $^{\circ}$ C，材料设为AISI1045钢，模具材料设为H13钢，预热温度300 $^{\circ}$ C，上冲头速度为20mm \cdot s⁻¹，下冲头不动。

2.1 对称复合模锻工艺数值模拟结果

对称复合模锻工艺数值模拟结果如图4示。图4a显示了模锻充型过程，结果表明：尽管上下型腔形状一致，但在成形过程中上冲头反挤成形较下冲

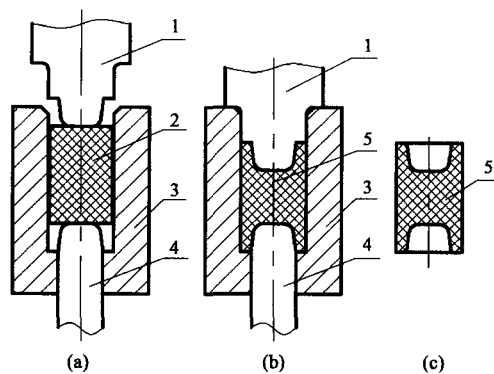


图2 对称复合模锻工艺示意图

(a) 始锻 (b) 终锻 (c) 制件1

1. 上冲头 2. 坯料 3. 模筒 4. 下冲头 5. 制件1

Fig. 2 Diagrammatic sketch of symmetric compound die forging process

(a) Initial forging (b) Final forging (c) Part 1

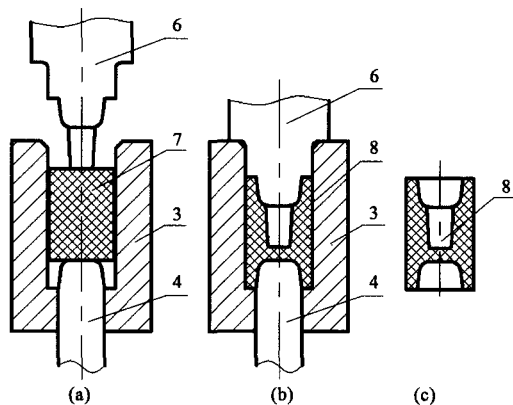


图3 不对称复合模锻工艺示意图

(a) 始锻 (b) 终锻 (c) 制件2

6. 上冲头 7. 坯料 8. 制件2

Fig. 3 Diagrammatic sketch of asymmetric compound die forging process

(a) Initial forging (b) Final forging (c) Part 2

头正挤容易冲入坯料；成形的锻件形状较好，边角处也基本充满；图4b显示锻后表层温度在903 $^{\circ}$ C左右，芯部温度接近1170 $^{\circ}$ C，与上冲头接触处温度略低；图4c显示了模锻充型结束时坯料各点的速度图，锻造流线明显；图4d显示正常成形载荷大致在800 kN左右，最后镦挤成形载荷会超过1250 kN。

2.2 不对称复合模锻工艺数值模拟结果

不对称复合模锻工艺数值模拟结果如图5所示。图5a显示了模锻充型过程，结果表明：首先是上冲头的前段先行压下反挤成形，然后是上冲头的后段冲头压下反挤成形，在此阶段下冲头冲入坯料很少一部分，上冲头基本全部压入坯料后下冲头才开始正挤成形，直至最后全部成形，所成形的锻件形状较好，边角处也基本充满；图5b显示锻后表层温度在887 $^{\circ}$ C左右，芯部温度接近1180 $^{\circ}$ C，与上冲头接

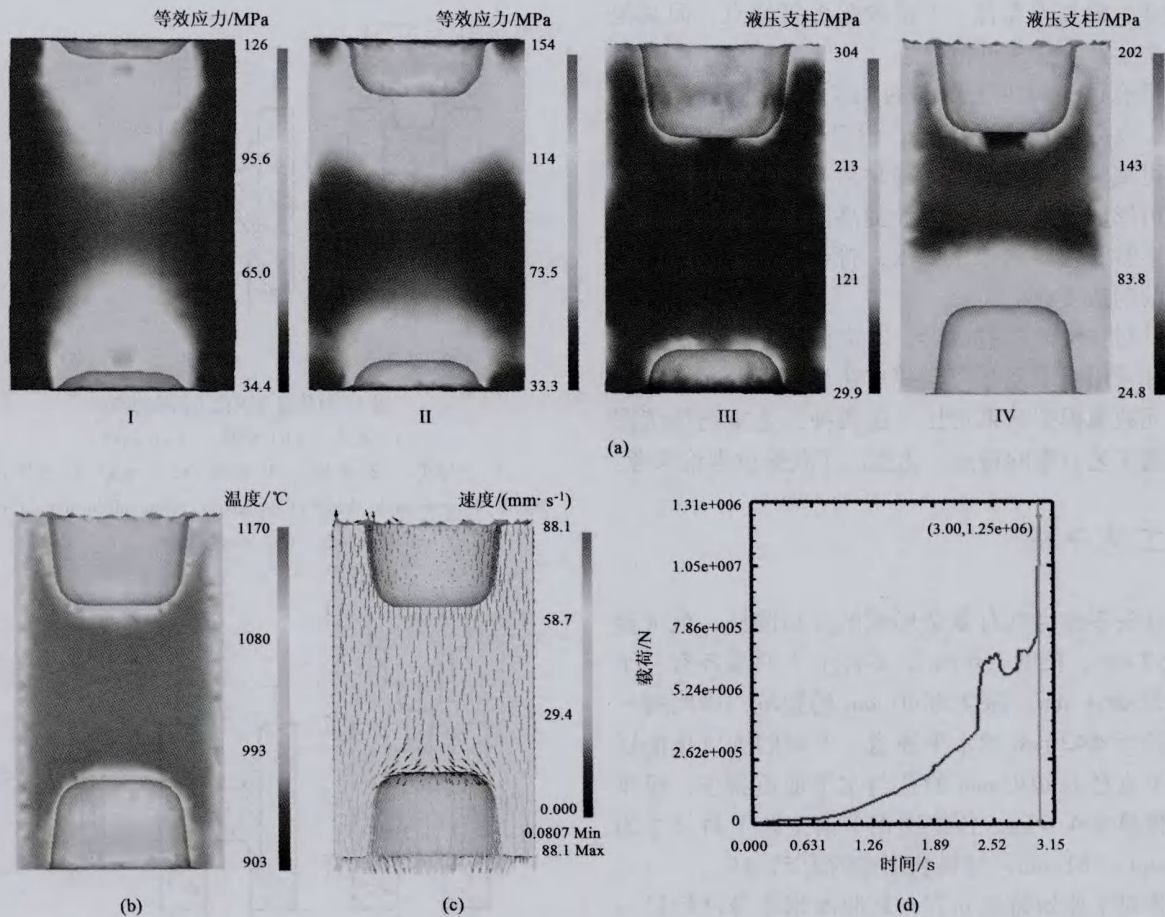


图 4 对称复合模锻模拟结果图

(a) 成形过程 - 等效应力 (b) 温度 (c) 速度 (d) 载荷

Fig. 4 Simulation results of symmetric compound die forging process

(a) Forming process-equivalent stress (b) Temperature (c) Velocity (d) Loading

触处温度略低；图 5c 显示了模锻充型结束时坯料各点的速度图，锻造流线明显；图 5d 显示正常成形载荷大致在 1000 kN 左右，最后镦挤成形载荷会直线上身甚至会超过 430 kN。

2.3 工艺分析对比

从两种工艺成形模拟结果来看，较为突出的一个现象是：在上动压机条件下，上冲头比下冲头更容易冲入坯料，因此，在后续的模具设计中，为改善制件下端的充填质量并降低设备载荷，可考虑从结构上调整一下，略微减小下冲头的成形阻力。另外从等效应力值分布情况以及速度图来看，两种工艺在成形区域内均有较大等效应力（主要为静水压应力），锻造流线明显，因此，二者的制件成形质量较好。

表 1 为两种模锻工艺以及传统圆钢车削工艺的对比分析，可以看出：

(1) 与传统圆钢车削工艺相比，复合模锻工

表 1 几种工艺对比

Table 1 Comparison of several processes

工艺	传统圆钢车削工艺	对称复合模锻工艺	不对称复合模锻工艺
坯料尺寸/(mm × mm)	Φ95 × 161	Φ90 × 140	Φ90 × 130
材料利用率/%	51.1	65.8	70.1
终锻时温度/°C		903 ~ 1170	887 ~ 1180
成形载荷/kN		800 以上	1000 以上
充型情况		好	好
有无锻造流线	无	有	有
成形有无毛刺	无	有	有
生产效率	低	高	更高

艺一次充型效果良好，可大大减小了机加工量，对提高材料利用率、产品质量以及生产效率有着重要意义；

(2) 不对称复合模锻工艺虽然在终端温度、成

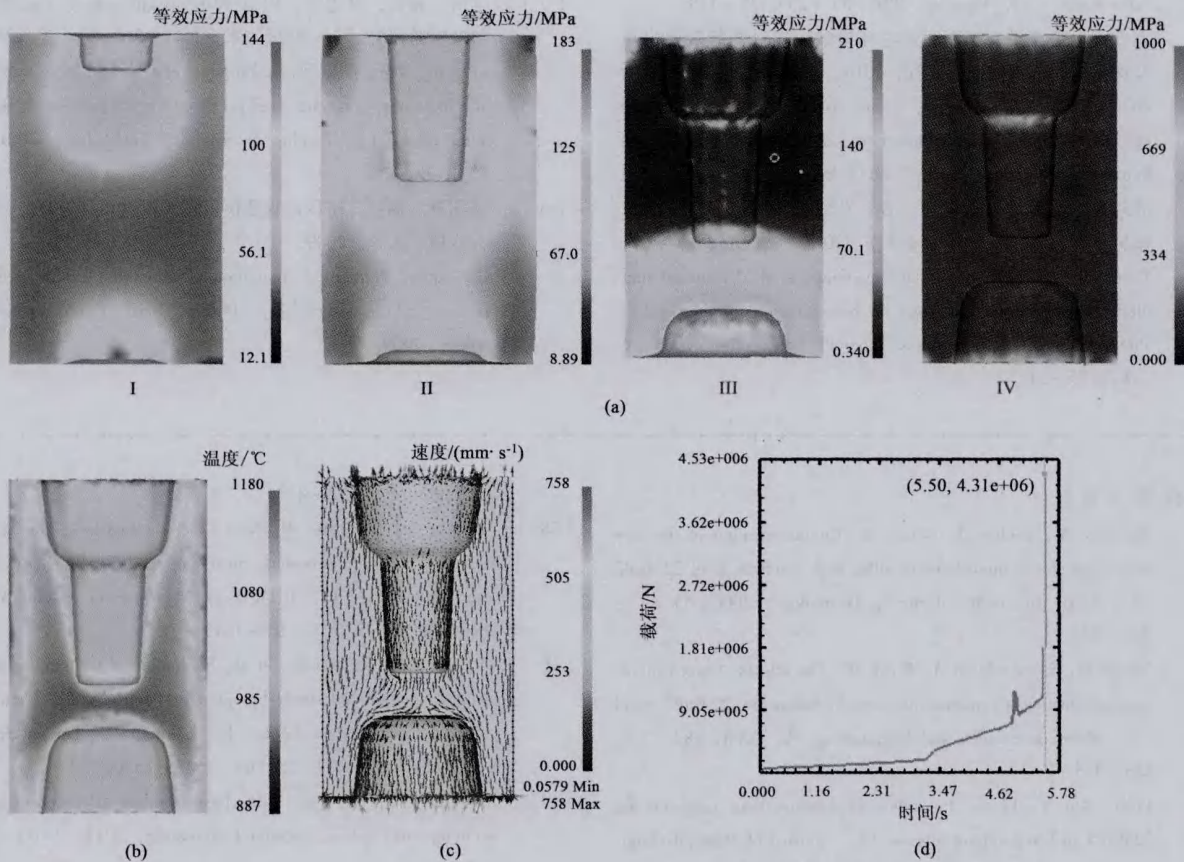


图5 不对称复合模锻模拟结果图

(a) 成形过程-等效应力 (b) 温度 (c) 速度 (d) 载荷

Fig. 5 Simulation result of asymmetric compound die forging process

(a) Forming process-equivalent stress (b) Temperature (c) Velocity (d) Loading

形载荷等方面比对称复合模锻工艺略微逊色一些,但数值相差并不大,况且不对称复合模锻在材料利用率以及减少机加工量方面效果更优,值得推广。

3 结论

(1) 提出的复合模锻工艺与传统圆钢车削工艺在材料利用率、制件质量以及生产效率上有明显优势;

(2) 利用有限元数值模拟计算比较了对称复合模锻以及不对称复合模锻工艺的优缺点,认为二者均具有较好的工艺性,可提高制件质量,但在具体数据的比较下推荐采用不对称复合模锻工艺;

(3) 在上动压机条件下,上冲头要比下冲头更容易冲入坯料,因此在后续模具设计中可参考这条规律来提高充模效果以及降低设备载荷;

(4) 后续实践已经证明,不对称复合模锻工艺

在理论上是合理的,在实践中是可行的。

参考文献:

- [1] 朱皖林. DZ型单体支柱柱头加工工艺改造[J]. 煤炭技术, 2001, (6): 4-5.
Zhu Wanlin. Reform of the process of the DZ type single pole head [J]. Coal Technology, 2001, (6): 4-5.
- [2] 王树志, 刘春峰, 吴清平, 等. DZ型单体液压支柱柱头加工工艺及专用工装设计[J]. 煤炭技术, 2003, (10): 68-70.
Wang Shuzhi, Liu Chunfeng, Wu Qingping, et al. Machining process and working tools design for valve base of DZ single hydraulic prop [J]. Coal Technology, 2003, (10): 68-70.
- [3] 杜宏伟, 张晓玄, 魏钧. 外注式单体液压支柱部分结构及工艺改造[J]. 煤炭技术, 2001, (10): 8-10.
Du Hongwei, Zhang Xiaoxuan, Wei Jun. Partial structure and process reform in outer single hydraulic prop [J]. Coal Technology, 2001, (10): 8-10.
- [4] 邢书明, 张密兰, 邢文斌. 挤压铸造液压阀体[J]. 铸造, 2008, 57(2): 137-139.
Xing Shuming, Zhang Milan, Xing Wenbin. Squeeze casting for

- valve bodies [J]. Foundry, 2008, 57 (2): 137-139.
- [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 Chunyu, Meng Xianju, Li Jun, Gear blank forging forming process simulation and optimization [J]. Journal of Netshape Forming Engineering, 2010, 2 (6): 24-28.
- [6] 周结魁, 薛克敏, 徐迎强, 等. 半轴套管热挤压成形数值模拟与实验 [J]. 塑性工程学报, 2011, 6 (18): 15-21.
Zhou Jiekui, Xue Kemin, Xu Yingqiang, et al. Numerical simulation and experimental study on hot extrusion forming of half shaft bushing [J]. Journal of Plasticity Engineering, 2011, 6 (18): 15-21.
- [7] 李倩, 蒋智, 钟志平. BJ型钟形壳温锻反挤压工艺数值模拟及实验研究 [J]. 锻压技术, 2011, 36 (2): 23-26.
Li Qian, Jiang Zhi, Zhong Zhiping, et al. Numerical simulation and experiment on warm-cold precision forging process for BJ-type outer race [J]. Forging & Stamping Technology, 2011, 36 (2): 23-26.
- [8] 邸利青. 铝型材挤压过程数值模拟及模具设计 [D]. 大连: 大连理工大学, 2009.
Di Liqing. Numerical simulation of aluminum profile extrusion process and die design [D]. Dalian: Dalian University of Technology, 2009.
-
- (上接第5页)
- [18] Merklein M, Lechler J, Geiger M. Characterisation of the flow properties of the quenchenable ultra high strength steel 22MnB5 [J]. CIRP Annals-Manufacturing Technology, 2006, 55 (1): 229-232.
- [19] Naderi M, Saeed-Akbari A, Bleck W. The effects of non-isothermal deformation on martensitic transformation in 22MnB5 steel [J]. Materials Science and Engineering: A, 2008, 487 (1): 445-455.
- [20] Li H, Wu X, Li G. Prediction of forming limit diagrams for 22MnB5 in hot stamping process [J]. Journal of Materials Engineering and Performance, 2013, 22: 2131-2040.
- [21] Li J Y, Min J Y, Lin J P, et al. Investigation on the effects of sheet thickness and deformation temperature on the forming limits of boron steel 22MnB5 [J]. Key Engineering Materials, 2011, 474: 993-997.
- [22] Min J, Lin J, Li J, et al. Investigation on hot forming limits of high strength steel 22MnB5 [J]. Computational Materials Science, 2010, 49 (2): 326-332.
- [23] Guo Y D. Hot forming springback and control of 22MnB5 boron and magnesium alloy sheet [J]. Key Engineering Materials, 2012, 499: 96-101.
- [24] Xing Z W, Bao J, Yang Y Y. Numerical simulation of hot stamping of quenchenable boron steel [J]. Materials Science and Engineering: A, 2009, 499 (1): 28-31.
- [25] So H, Famann D, Hoffmann H, et al. An investigation of the blanking process of the quenchenable boron alloyed steel 22MnB5 before and after hot stamping process [J]. Journal of Materials Processing Technology, 2012, 212 (2): 437-449.
- [26] 杨洪林, 刘昕, 李俊, 等. 热冲压钢镀层技术的研究现状 [J]. 钢铁研究学报, 2013, 25 (6): 1-8.
Yang Honglin, Liu Xin, Li Jun, et al. Research status on hot stamping steel coating [J]. Journal of Iron and Steel Research, 2013, 25 (6): 1-8.
- [27] Fan D W, De Cooman B C. State-of-the-knowledge on coating systems for hot stamped parts [J]. Steel Research International, 2012, 83 (5): 412-433.
- [28] Manzenreiter T, Rosner M, Kurz T, et al. Challenges and advantages in usage of zinc-coated, press-hardened components with tailored properties [J]. BHM Bergund Hüttenmännische Monatshefte, 2012, 157 (3): 97-101.
- [29] Choi H, Park G, Lim W, et al. Evaluation of weldability for resistance spot welded single-lap joint between GA780DP and hot-stamped 22MnB5 steel sheets [J]. Journal of Mechanical Science and Technology, 2011, 25 (6): 1543-1550.
- [30] Kim C, Kang M J, Park Y D. Laser welding of Al-Si coated hot stamping steel [J]. Procedia Engineering, 2011, (10): 2226-2231.
- [31] 王春雨, 李磊, 韩飞, 等. 表面镀铝对 22MnB5 钢薄板焊接性的影响 [J]. 表面技术, 2012, 41 (6): 37-43.
Wang Chunyu, Li Lei, Han Fei, et al. Effects of surface hot-dipping Al on welding of 22MnB5 sheet [J]. Surface Technology, 2012, 41 (6): 37-43.
- [32] Dosdat L, Petitjean J, Vietoris T, et al. Corrosion resistance of different metallic coatings on press-hardened steels for automotive [J]. Steel Research International, 2011, 82 (6): 726-733.
- [33] Lee C W, Fan D W, Sohn I R, et al. Liquid-metal-induced embrittlement of Zn-coated hot stamping steel [J]. Metallurgical and Materials Transactions A, 2012, 43 (13): 5122-5127.
- [34] Nakata M, Akioka K, Takahashi M, et al. Hot V-bend formability of galvanized boron steel for hot stamping [A]. SAE-China and FISITA. Proceedings of the FISITA 2012 World Automotive Congress [C]. London, 2012.
- [35] Kondratiuk J, Kuhn P, Labrenz E, et al. Zinc coatings for hot sheet metal forming: Comparison of phase evolution and microstructure during heat treatment [J]. Surface and Coatings Technology, 2011, 205 (17-18): 4141-4153.
- [36] 徐虹, 孟佳, 谷净巍, 等. 22MnB5 钢热冲压高温防氧化涂层 [J]. 汽车技术, 2011 (12): 48-51.
Xu Hong, Meng Jia, Gu Zhengwei, et al. An heat and oxidation resistant coatings applied to 22MnB5 steel in hot stamping process [J]. Automobile Technology, 2011, (12): 48-51.