

扭力梁热成形模拟仿真分析

冯擎峰¹, 熊飞¹, 金建伟¹, 余凯²

(1.浙江吉利汽车研究院, 杭州 311228; 2.合肥工业大学, 合肥 230009)

摘要: **目的** 研究扭力梁热成形工艺。**方法** 利用有限元分析软件, 对扭力梁热成形进行模拟仿真, 分析管坯的初始温度、冲压速度和摩擦因数对扭力梁热成形质量的影响。**结果** 当管坯的初始温度为 800 ℃, 冲压速度为 100 mm/s, 摩擦因数为 0.45 时, 减薄率达到最低, 马氏体含量达到最高, 热成形质量最优。**结论** 利用有限元进行热成形分析的结果符合热成形规律, 对该工艺的实际生产具有一定的指导意义。

关键词: 扭力梁; 热成形; 有限元分析; 减薄率

DOI: 10.3969/j.issn.1674-6457.2017.04.008

中图分类号: TG39 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-6457(2017)04-0047-05

Simulation Analysis of Thermal Forming for Torsion Beam

FENG Qing-feng¹, XIONG Fei¹, JIN Jian-wei¹, YU Kai²

(1. Geely Automobile Research Institute, Hangzhou 311228, China; 2. Hefei University of Technology, Hefei 230009, China)

ABSTRACT: To study the hot forming process of the torsion beam. The finite element analysis software was used to simulate the hot forming process of the torsion beam. The influence of the initial temperature, the stamping speed and the friction coefficient on the forming quality of the torsion beam were obtained. When the initial temperature was 800 ℃, the stamping speed was 100 mm/s and the friction coefficient was 0.45, the thinning rate was the lowest, the marten site content was the highest, and the hot forming quality was the best. The result of finite element analysis is in accordance with the law of the hot forming, which has certain guiding significances for the actual production of this process.

KEY WORDS: torsion beam; hot forming; finite element analysis; thinning rate

热成形是通过将坯料加热至完全奥氏体化并保温一定时间后, 坯料在模具内成形的同时完成淬火工艺, 形成微观组织为马氏体零件的过程。热成形的特点是在成形过程中, 坯料上一直存在一个不断变化的温度场, 温度的变化会促使材料的微观组织和力学性能发生变化, 在保证零件成形的同时, 强度也得到大幅度提高。

扭力梁总成是轿车后悬挂装置中的一个重要系统, 在轿车过坎时可以减轻地面对车身的反馈, 保证轿车在转弯时的平稳性。所以扭力梁的扭转强度、扭转刚度和疲劳性能是后悬架系统设计的重点。良好的结构形状不仅可以使扭力梁的扭转刚度得到提升, 同时也可以使应力得到合理分布, 从而避免了在某些局

部区域产生应力集中的现象, 延长了扭力梁的使用寿命。文中以汽车扭力梁零件为例, 利用非线性有限元分析软件, 对其成形过程进行仿真模拟, 探究工艺参数对成形质量的影响, 对于实际生产给予一定指导意义, 以节约生产成本。

1 零件结构特征及材料参数

扭力梁零件形状见图 1。沿纵向方向, 扭力梁截面形状变化复杂。选取扭力梁端头、变形程度较大的中部和中间的 3 个截面, 并依次命名为 A-A、B-B、C-C。其中 A-A 截面横向宽度为 84 mm, 上部被冲压成扁平状; B-B 截面上半部承压成内凹形, 但并没有与下半

收稿日期: 2017-05-15

作者简介: 冯擎峰(1965—), 男, 博士, 吉利汽车研究院院长, 主要研究方向为汽车板料成形、模具 CAD/CAE/CAM 技术。

通讯作者: 熊飞(1965—), 男, 博士, 吉利汽车研究院总工程师, 主要研究方向为汽车板料成形、模具 CAD/CAE/CAM 技术。

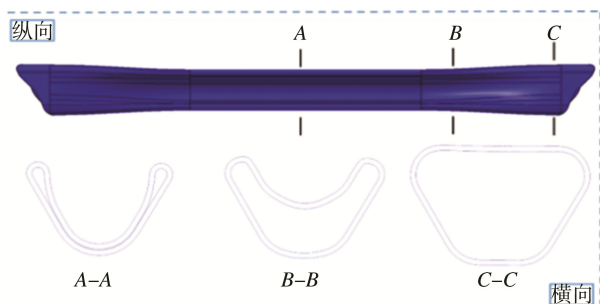


图1 热成形扭力梁零件及典型截面形状

Fig.1 The hot forming torsion beam parts diagram and typical section shape

部接触,上下部之间存在一个空腔结构;C-C截面上下部分都被冲压成凹形结构,但是在2个凸耳处形成空腔组织,形状结构复杂。原材料为管形结构,直径为89.5 mm,厚度为3.5 mm。

热成形用钢材主要含有硼、锰2种元素。锰是提

高钢淬透性的元素之一,当材料被加热至完全奥氏体化后,硼元素会聚集在奥氏体晶界处,阻止铁素体的形成。扭力梁热成形材料为22MnB5钢,密度约为 7850 kg/m^3 ,含有质量分数为0.22%~0.25%的C,0.2%~0.3%的Si,1.2%~1.4%的Mn,不大于0.005%的S,0.02%~0.05%的Al,0.002%~0.005%的B,0.11%~0.2%的Cr。

热成形过程中,材料不仅发生了塑性变形,零件的温度和微观组织也发生了变化。材料的比热容、热导率对淬火效果有显著影响,热膨胀系数会影响零件的成形精度,这些参数在热成形过程中会随着温度的变化而变化,进而又会影响成形过程中材料与模具的温度场,最终影响零件的成形质量。因此,在有限元分析过程中必须考虑相关参数,以确保模拟结果真实可靠。22MnB5钢比热容、热导率和热膨胀系数随温度的变化关系分别见图2。

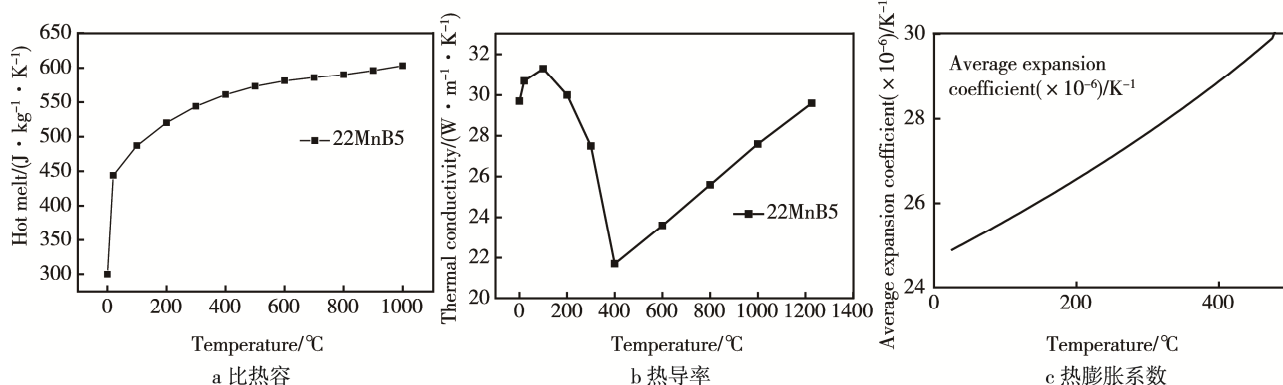


图2 22MnB5钢的相关参数与温度的关系

Fig.2 Relationship between relevant parameters and temperature of 22MnB5 steel

2 热成形模拟过程

热成形时,管坯两端处于自由成形状态,若两端无模具对其形状进行约束,则零件尺寸精度无法得到保证。故设置2个冲头做纵向进给运动,以利于成形零件两端形状,设置的模具与管坯3D模型见图3。热成形时,若凸凹模先合模,则管坯下表面由于成形过程中形状不可控,左右冲头运动,可能会与坯料产生干涉,造成零件质量的损坏。扭力梁热成形工序为:①管坯在加热炉中加热至完全奥氏体化;②已加热

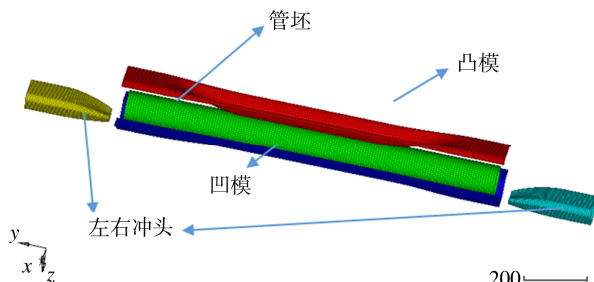


图3 模具与管坯3D模型

Fig.3 3D model of mould and pipe blank

的管坯被运输至模具中,凸模在1.8 s内向下运动135 mm,随后静止;③左右冲头在0.5 s内相向运动150 mm,随后保持静止;④凸模运动15 mm合模,模内淬火3 s。

3 模拟仿真结果

3.1 坯料成形初始温度对成形质量的影响

热成形时,管坯被加热到一定的温度以上,使其微观组织转变为奥氏体组织。管坯从加热炉运输至热成形模具上的过程中,已经被加热的坯料势必会与空气进行热交换和热辐射,坯料的温度必然下降,真正成形时的温度是小于坯料被加热时的设置温度。管坯的加热温度设置太高,会导致管坯材料发生过热、过烧、脱碳等反应,材料的微观组织会发生变化,这必然会影响零件的最终成形质量。由于管坯加热设置的温度较高,为了成形后达到相同的成形终了温度,对模具冷却能力提出了更高的要求,同时,管坯温度越高对模具本身的损害也就越大,这不利于企业对生产

成本和经济效益的诉求。

选取模具温度为室温 25 ℃，凸模的冲压速度为 75 mm/s，行程为 120 mm；左右冲头的冲压速度为 150 mm/s，行程为 300 mm；管坯成形初始温度为 750~950 ℃，温度间隔为 50 ℃。热成形结束后，零件的应力场分布见图 4。

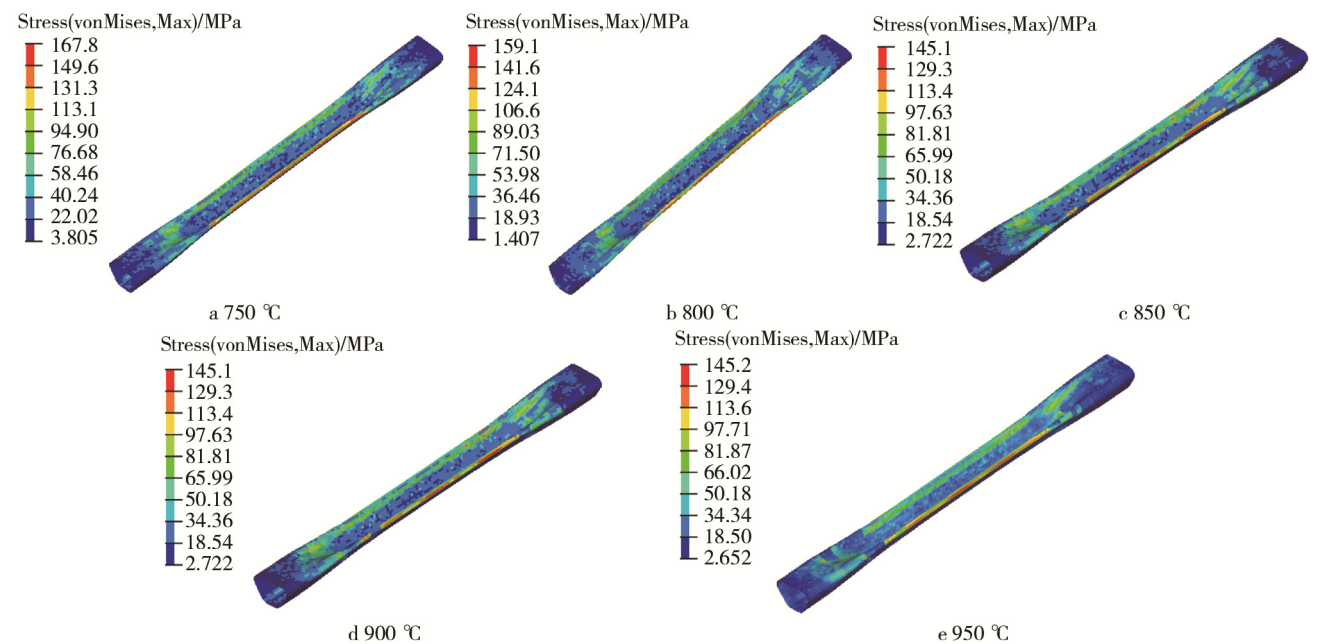


图 4 应力分布与坯料温度的关系
Fig.4 Relationship between stress and blank temperature

从图 4 可知，当管坯的初始温度从 750 ℃增加至 950 ℃时，成形终了，零件的最大主应力分布区域无明显变化，最大主应力分布在扭力梁 2 个内部具有空腔结构的狭长凸耳处，最大应力值随管坯初始温度的增加先减小后增大。当管坯初始温度为 900 ℃时，此时最大主应力值最小，为 145 MPa，随着管坯初始温度的上升，坯料成形时的变形抗力呈下降趋势，零件的应力值下降，但当坯料的初始温度上升到 950 ℃时，应力值有所升高，为 167 MPa，这是由于材料的温度过高，材料已经出现过烧、脱碳，零件的内部组织已经发生改变，对零件的应力分布有所影响。管坯初始温度不仅会对零件的微观组织有所影响，其也会影响零件的成形质量，成形结果与温度的关系见图 5。可知，随着管坯初始温度从 750 ℃增加至 950 ℃，热成形后零件的减薄率从 3.7%增加到 12.3%，零件的最

高温从 279 ℃上升至 335 ℃，铁素体最高质量分数从 21.6%上升至 38.3%，马氏体最低质量分数从 78.3%降低到 61.7%。

热成形时，管坯的初始温度越高，成形时材料的流动性越好，成形时越利于材料的补料，但是材料的流动性过好会造成部分需要补料的区域材料流失，造成零件的减薄率升高；同时，模具冷却淬火能力是恒定的，在冷却淬火时间相同的条件下，成形终了时零件的温度更高，马氏体最低含量降低、铁素体最高含量升高。在高强钢板热成形中，管坯的初始温度过高不仅会增加生产成本，造成资源的过度消耗，而且还会导致管坯发生过烧和脱碳等情况，因此，制定合理的加热温度对扭力梁热成形至关重要。

3.2 模具冲压速度对成形质量的影响

模具的冲压速度越大，成形过程所需时间也就越短，在相同的淬火时间下成形，零件淬火时间也就越充分。但是，模具冲压速度越大，管坯在短时间内发生剧烈变形，变形速率的升高则会造成材料的流动性不好，材料的变形抗力也随之增加，成形终了时零件的应力值也会上升。这也就意味着对成形所需压力机的能力提出了更高要求，这会增加设备的采购成本。设定管坯的初始温度为 850 ℃，模具初始温度为 25 ℃；左右冲头冲压速度恒定为 150 mm/s，行程为 300 mm；凸模行程为 120 mm，凸模在冲压速度选取 50~150 mm/s，热成形结束后，零件的应力场分布见图 6。

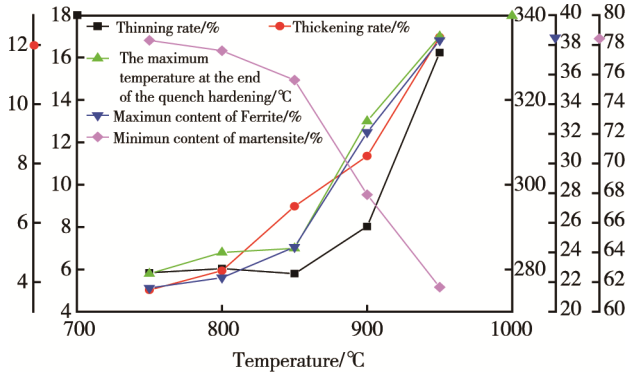


图 5 成形结果-温度
Fig.5 Forming results-temperature

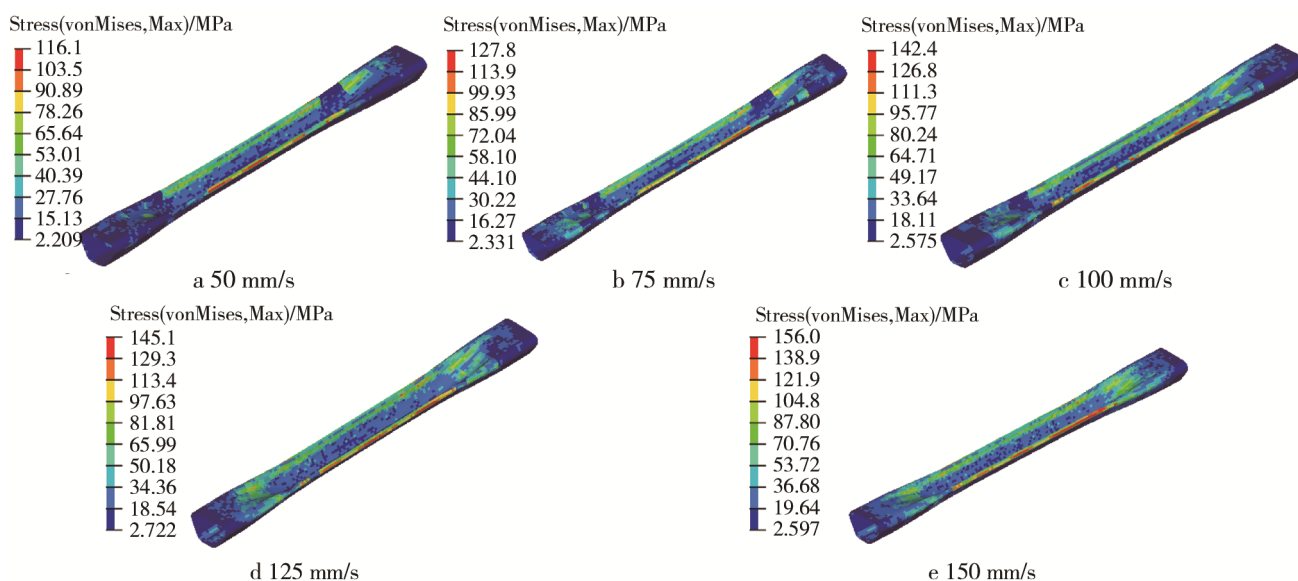


图6 应力分布与模具冲压速度的关系
Fig.6 Relationship between stress and punch speed

从图6可以看出,随着模具冲压速度从50 mm/s增加至150 mm/s,零件的最大应力主要分布在C-C截面的2个狭长空腔结构的凸耳处;最大应力值从116 MPa增加至156 MPa。模具冲压速度越高,材料的应变速率也就越大,变形抗力也就越大,最大应力值也会增大。减薄率、增厚率随冲压速度的变化见图7。可以看到,当模具的冲压速度从50 mm/s增加到150 mm/s时,零件的增厚率从2.05%增加到16.61%;以冲压速度100 mm/s为界线,零件的减薄率先增大后减小,冲压速度为100 mm/s时,零件的减薄率为12.84%,达到最大值。冲压速度增大,材料会出现加工硬化现象,材料流动性变差,造成该补料的区域无法补料,材料被过度的减薄,零件的减薄率变大。

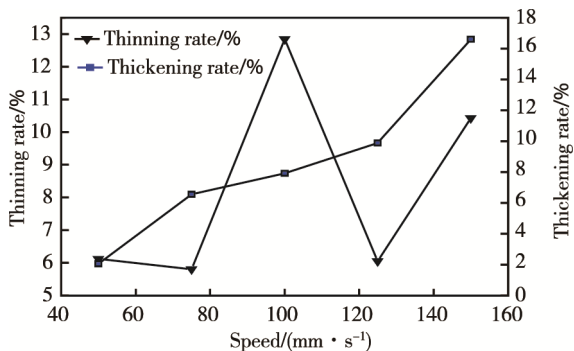


图7 成形结果-速度
Fig.7 Forming results-speed

3.3 摩擦条件对成形质量的影响

根据相关热成形文献,热成形时,材料的粘性会变大,摩擦因数相应的也会变大,管坯与模具之间的摩擦因数一般在0.4至0.5。为此,选取摩擦因数分别为0.4, 0.45, 0.5, 0.75, 0.5,对热成形结果进行模拟

仿真分析。零件的成形结果见图8。可以得出,当摩擦因数从0.4增加至0.45,零部件的最大减薄率从6.1%减小到5.8%;当摩擦因数从0.45增加至0.5时,减薄率从5.8%增加至6.37%;随着摩擦因数从0.4增加至0.5,零件的最大增厚率从6.3%减小至5.77%,总体上变化不大。摩擦因数越大,成形时材料流动所受阻力也就越大,局部区域减薄的地方由于得不到及时的材料补充,过分的被拉延,容易造成零件出现开裂缺陷。

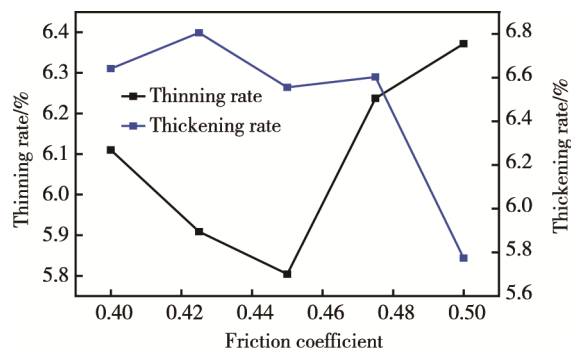


图8 成形结果-摩擦因数
Fig.8 Forming results-friction coefficient

4 结论

1) 随着管坯初始温度从750℃增加到950℃,应力值先降低后升高,当温度为900℃时,应力值为145 MPa;零件的减薄率从3.7%上升至12.3%;最高温度从279℃上升至335℃;铁素体含量从21.6%上升至38.3%;马氏体含量从78.3%降低到61.7%。

2) 随着模具的冲压速度升高,最大应力值从116 MPa上升至156 MPa;增厚率从2.05%上升至16.61%;

以冲压速度 100 mm/s 为界线, 减薄率先上升后降低。

3) 随着摩擦因数从 0.4 上升至 0.45 时, 减薄率从 6.1%减小到 5.8%; 当摩擦因数从 0.45 增加至 0.5 时, 减薄率逐渐变大, 最大为 6.37%; 零件的增厚率随着摩擦因数的增大反而减小。

参考文献:

- [1] 徐勇. 超高强度可淬火钢板热成形工艺数值模拟研究[D]. 长春: 吉林大学, 2010.
XU Yong. Research on Numerical Simulation of Hot Stamping Process of Quenchable Ultra High Strength Steel [D]. Changchun: Jilin University, 2010.
- [2] LIU H, LIU W, BAO J, et al. Numerical and Experimental Investigation into Hot Forming of Ultra High Strength Steel Sheet[J]. Journal of Materials Engineering and Performance, 2011, 20(1):1—10.
- [3] 孟炬, 朱彬, 张宜生, 等. 高强度热冲压成形过程宏观数值模拟综述[J]. 河北工业科技, 2015, 32(3): 272—276.
MENG Jv, ZHU Bin, ZHANG Yi-sheng, et al. Review on Macroand Micro-modeling of High Strength Steel Hot Stamping Process[J]. Hebei Journal of Industrial Science and Technology, 2015, 32(3): 272—276.
- [4] 田晓薇. 超高强钢板热冲压成形过程的摩擦行为研究[D]. 武汉: 华中科技大学, 2011.
TIAN Xiao-wei. Investigation on the Friction Behavior in the Hot Stamping of Ultra High Strength Steel[D]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology, 2011.
- [5] 高云凯, 高大威, 余海燕, 等. 汽车用高强度钢热成型技术[J]. 汽车技术, 2010(8): 56—60.
GAO Yun-kai, GAO Da-wei, YU Hai-yan, et al. Analysis on High-strength Steel Hot Forming Technology for Automobile[J]. Automobile Technology, 2010(8): 56—60.
- [6] 刘和平. 高强塑积热变形淬火碳分配钢的研究[D]. 上海: 上海交通大学, 2011.
LIU He-ping. Study on High Strength and Elongation Steels Treated by hot Deformation & QP Process[D]. Shanghai: Shanghai Jiao Tong University, 2011.
- [7] 马宁. 高强度钢板热成形技术若干研究[D]. 大连: 大连理工大学, 2011.
MA Ning. Research on Hot Forming of High Strength Steel[D]. Dalian: Dalian University of Technology, 2011.
- [8] 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.
- [9] 程明. 高强塑积汽车用钢热冲压-配分一体化工艺研究[D]. 南昌: 南昌航空大学, 2014.
CHENG Ming. Study on the Process of Partitioning Hot Stamping of the Steel with the High Product of the Strength and Ductility Applied to Automobile[D]. Nanchang: Nanchang Hangkong University, 2014.
- [10] 苏竹. 热冲压用钢 BR1500HS 高温流变行为研究及淬火工艺优化[D]. 重庆: 重庆大学, 2012.
SU Zhu. Study on High Temperature Flow Behavior and Quenching Process of Hot Stamping Steel BR1500HS[D]. Chongqing: Chongqing University, 2012.
- [11] 张伟玮, 韩聪, 苑世剑. 高强度 22MnB5 扭力梁热成形热力耦合数值模拟[J]. 材料科学与工艺, 2014, 22(3): 16—22.
ZHANG Wei-wei, HAN Cong, YUAN Shi-jian. Hot Forming Processing Simulation of Torsion Beam of High Strength Steel 22MnB5[J]. Materials Science and Technology, 2014, 22(3): 16—22.
- [12] 姜超, 单忠德, 庄百亮, 等. 初始成形温度对超高强钢热冲压件力学性能的影响[J]. 金属热处理, 2011, 36(12): 66—69.
JIANG Chao, SHAN Zhong-de, ZHUANG Bai-liang, et al. Effect of Initial Deformation Temperature on Mechanical Properties of Ultra-high Strength Steel Hot Stamping Parts[J]. Heat Treatment of Metals, 2011, 36(12): 66—69.
- [13] HAN C, YUAN S J, SUN L N. Reduction of Friction and Calibration Pressure by Section Perform during Hydroforming of Tubular Automotive Structural Components[J]. Advanced Materials Research, 2008, 44/45/46: 143—150.
- [14] JANDESKA W F, MORRAL J E. The Distribution of Boron in Austenite[J]. Metallurgical and Materials Transactions B, 1972, 3(11): 2933—2937.
- [15] MORTIMER D A, NICHOLAS M G. Surface and Grain-boundary Energies of AISI 316 Stainless Steel in the Presence of Boron[J]. Metal Science, 1976, 10(9): 326—332.