工艺参数对20MnSi热轧棒材力学性能的影响

何刚[1,2]，邓子玉[1]，任戈[3]
（1.沈阳理工大学 材料科学与工程学院，沈阳 110159；2.辽宁冶金职业技术学院，辽宁 本溪 117022；
3.本溪钢铁集团公司，辽宁 本溪 117000）

摘要：通过研究规格为φ14 mm的20MnSi热轧棒材工艺参数，指出在终轧温度为850 ℃左右时，以0.5～2.0 ℃/s的速度冷却至650 ℃，得到的20MnSi热轧成品棒材组织晶粒更细小、力学性能更高。和常规轧制相比，对20MnSi热轧棒材参数进行控制，抗拉强度提高60 MPa，晶粒直径平均缩小2.2 μm。

关键词：20MnSi；热轧棒材；力学性能
中图分类号：TG335.11 **文献标识码**：A
文章编号：1674-6457(2012)01-0034-06

Technological Parameter Influence on Mechanical Property of 20MnSi Hot-rolled Bar

HE Gang[1,2], *DENG Zi-yu*[1], *REN Ge*[3]
(1. Shenyang Technology University School of Materials Science and Engineering, Shenyang 110159, China;
2. Liaoning Vocational and Technical Metallurgy College, Benxi 117022, China;
3. Benxi iron & steel (group) Co., LTD., Benxi 117000, China)

Abstract: Technological parameter of the 20MnSi hot-rolled bar(the specification:14 mm) after the research indicates that 20MnSi grain size is smaller and the mechanical property is higher when finish rolling temperature is at 850 ℃ or so, cooling to 650 ℃ at 0.5～2.0 ℃/S. Compared with the routine rolling, the tensile strength is enhanced by 60 MPa, average grain diameter reduction is 2.2 μm, when 20MnSi hot rolled bar process are controlled.

Key words: 20MnSi; hot-rolled bar; mechanical property

热连轧中控制轧制和轧后控制冷却工艺是一项提高钢材强韧性的先进技术，即采用比常温高的压下制度和轧后的控温制度，使钢材热变形与相变有机结合，得到所需要的组织状态。此工艺因省去了轧后的热处理工序，节约了能源消耗，简化了工序，大幅度提高钢材的综合力学性能，具有显著的经济效益和社会效益。文中以20MnSi热轧棒材为例，重点分析在轧制过程中参数控制对力学性能的影响。

1 主要装备及生产流程简介

1.1 设备

20MnSi热轧棒材是本溪钢铁集团公司一钢厂目前生产的一个重要产品，对棒材的力学性能要求高。可利用现有设备对20MnSi热轧棒材参数进行控制，使产品得到高力学性能。一钢厂目前拥有的主要设备有步进梁式加热炉，高刚度、短应力线连轧

收稿日期：2011-07-19
作者简介：何刚(1970—)，男，辽宁营口人，工程硕士(在读)，主要研究方向为材料成形。

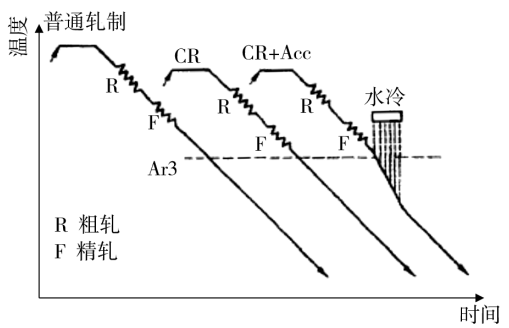
机 24 架,平立交替布置,可实现无扭轧制。拥有 650 t 孔型剪,ϕ1 250 mm 磨切锯,长 78 m、宽 10 m 的冷床,在线除磷、控温、测径及连续热处理等设备,可获得表面质量优良及尺寸精度高的产品。产品最长可达 12 m,棒材规格范围为 ϕ12～ϕ75 mm,具备控制轧制及冷却的条件。

1.2　工艺流程及控制轧制原理[1]

本溪钢铁集团公司一钢厂的工艺特点为全线无扭转轧制,粗、中轧制间采用脱头轧制,保温辊道隔开,实现了速度上的灵活调节,利于控制轧制,同时孔型系统共用性强,轧制路线灵活。下面重点说明生产 ϕ12 mm20MnSi 热轧棒材的工艺流程。

生产工艺流程为:电炉(钢水)—连铸 200(240)方钢—热装加热炉—除磷—轧制—切断—收集—结捆—(缓冷)—(退火)—精整—探伤—包装—入库。

控轧控冷过程是将利用塑性变形获得钢材外部几何形状的热加工成形过程与控制改善钢材组织状态、提高钢材性能的物理冶金过程有机结合起来,大幅度提高低碳钢、低合金钢材的强韧性,提高热轧钢材的合格率。针对 ϕ12 mm 的 20MnSi 热轧棒材,重点从控制加热温度、终轧温度及轧后冷却速度等工艺参数入手,利用控轧控冷模式获得需要的组织和力学性能。典型的控轧控冷模式如图 1 所示。



CR 一控制轧制;Acc 一控制冷却

图 1　各种轧制程序的模式

Fig. 1　Pattern chart of all kinds of rolling process

2　试验方案

利用现有设备,根据控制轧制及控制冷却模式图对 ϕ14 mm 的 20MnSi 热轧棒材进行试制。在加热温度不变的基础上,对终轧温度进行控制。将加热温度稳定在 1 150 ℃,通过对 9 根棒材进行标定,记录开轧温度、终轧温度、冷却速度、终冷温度等工艺参数。随后根据标识对所标定的试样进行检验,将检验结果和工艺参数进行对应分析,从而得出结论。

轧制方案及检验性能见表 1 及表 2。

表 1　轧制方案

Table 1　Rolling plan

试样序号	加热温度/℃	开轧温度/℃	终轧温度/℃	冷却速度/(m·s^{-1})	终冷温度/℃	冷后处理
1	1 150	1 150～1 130	900	1～2	700	缓冷
2	1 150	1 150～1 130	850	1～2	700	缓冷
3	1 150	1 150～1 130	820	1～2	700	缓冷
4	1 150	1 150～1 130	850	1～2	750	缓冷
5	1 150	1 150～1 130	850	1～2	650	缓冷
6	1 150	1 150～1 130	850	1～2	620	缓冷
7	1 150	1 150～1 130	850	4～6	620	缓冷
8	1 150	1 150～1 130	850	6～10	620	缓冷
9	1 150	1 150～1 130	850		快轧完保温	

表 2　试验测试结果

Table 2　Experimental test results

试样编号	晶粒直径 d/μm	屈服强度 σ_s/MPa	抗拉强度 σ_b/MPa	延伸率 δ/%	冷弯 180° 结果
1	7.2	405	555	33	合格
2	6.5	415	580	36	合格
3	6.5	420	585	34	合格
4	7.3	410	580	30	合格
5	6.6	425	595	30	合格
6	6.6	419	590	34	合格
7	6.5	426	595	35	合格
8	6.4	440	615	34	合格
9	9.0	385	524	28	合格

通过对表 1 和表 2 的分析,试样 7 和试样 8 指标最好,说明终轧温度为 850 ℃左右时,以 0.5～2.0 ℃/s 的速度冷却至 630～650 ℃,得到的 20MnSi 热轧成品棒材组织晶粒更细小、力学性能更高。

3　控制参数对性能的影响分析[2]

3.1　终轧温度的影响

终轧温度对钢材的力学性能影响极为明显,在

加热温度一定和成分不变的基础上，降低终轧温度可细化晶粒组织。以低碳钢 20MnSi 而言，终轧温度过低会在钢材内部产生带状组织。即使设备具备低温轧制能力，对不同的钢种还是要限制其终轧温度。同时，对于细化晶粒，也不是终轧温度越低晶粒就越细。下面从抗拉强度、屈服强度及晶粒尺寸对终轧温度的影响进行分析。如图 2、图 3 和图 4 所示。

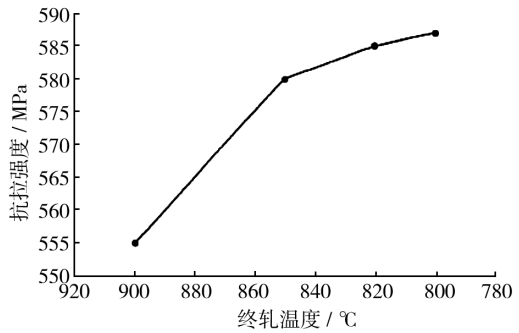


图 2 抗拉强度-终轧温度

Fig. 2 Tensile strength-finishing temperature

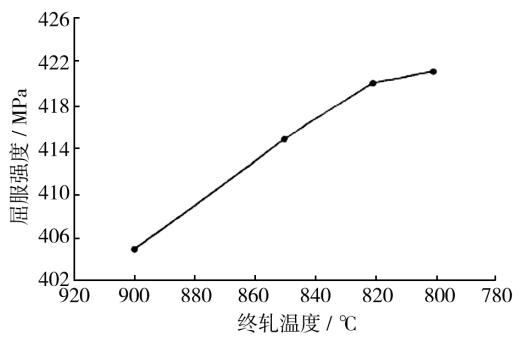


图 3 屈服强度-终轧温度

Fig. 3 The yield strength-finishing temperature

由图 2 和图 3 可知，终轧温度在 850～900 ℃之间时强度提高得较快，随着终轧温度的进一步降低，强度不断提高，增大的幅度趋于平缓。铁素体晶粒直径与终轧温度间的关系如图 4 所示，随着终轧温度的降低，晶粒直径不断变小，晶粒得到细化，强度不断提高，同时韧性也有所改善。综合考虑强度和韧性，轧机设备负荷能力及其安全性，取 850 ℃为终轧温度较为理想。

3.2 冷却速度及温度的影响[3]

在加热温度为 1 150 ℃，开轧温度为 1 130 ℃，

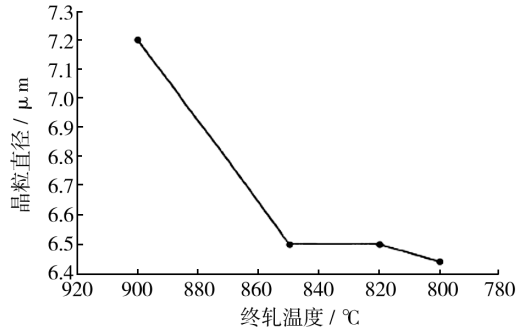


图 4 晶粒直径-终轧温度

Fig. 4 Crystalline grain diameter-finishing temperature

终轧温度为 850 ℃，冷却速度为 1 ℃/s 和终冷温度为 650 ℃时，热轧棒材在奥氏体状态下很快冷却，表面淬成马氏体，随后由芯部放出余热而进行自回火，可提高强度和塑性，改善韧性。轧后冷却速度及终冷温度对晶粒的影响趋势如图 5－图 10 所示。

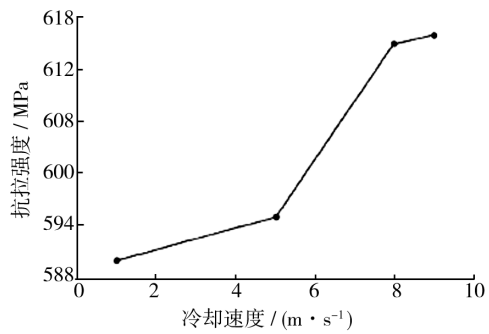


图 5 抗拉强度-冷却速度

Fig. 5 Tensile strength-cooling rate

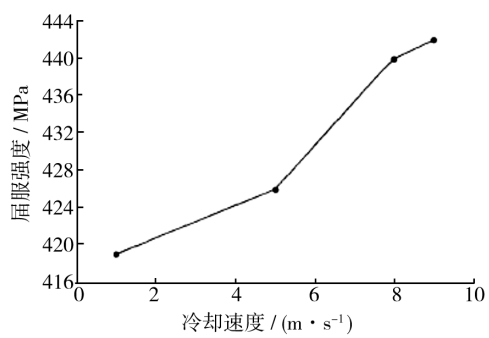


图 6 屈服强度-冷却速度

Fig. 6 The yield strength-cooling rate

从图 5、图 6 和图 7 得出，随着冷却速度的提高，晶粒越来越细，强度得到提高。在一定温度范围内，随着终冷温度的降低，轧材的强度得到提高（如

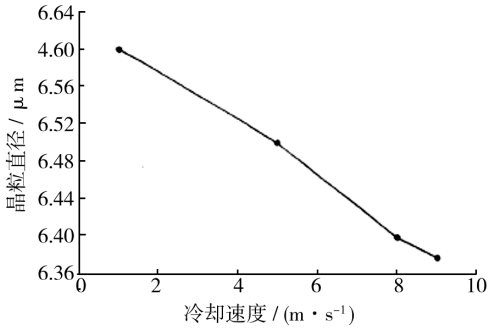


图 7　晶粒直径-冷却速度

Fig. 7　Crystalline grain diameter-cooling rate

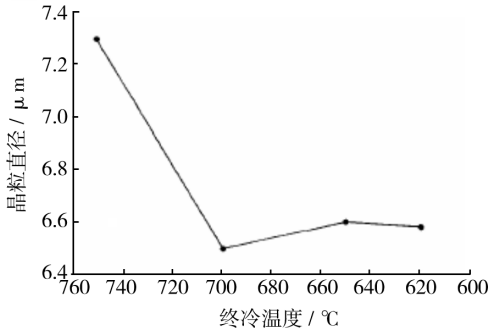


图 10　晶粒直径-终冷温度

Fig. 10　Crystalline grain diameter-finishing cooling temperature

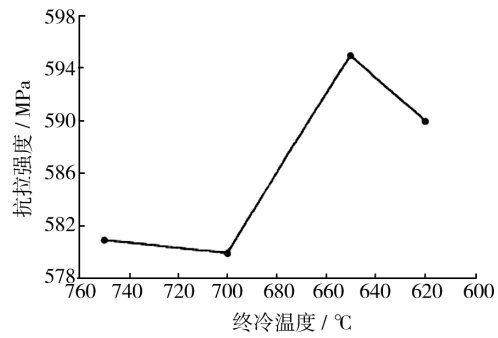


图 8　抗拉强度-终冷温度

Fig. 8　Tensile strength-finishing cooling temperature

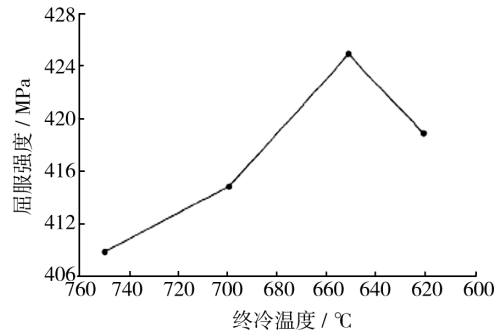


图 9　屈服强度-终冷温度

Fig. 9　The yield strength-finishing cooling temperature

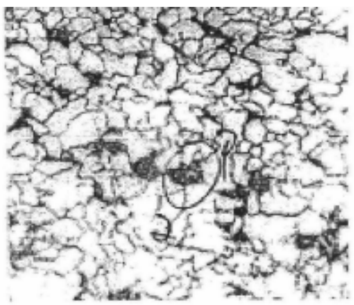


图 11　冷却速度为 0.5 ℃/s

Fig. 11 The cooling speed of 0.5 ℃/s

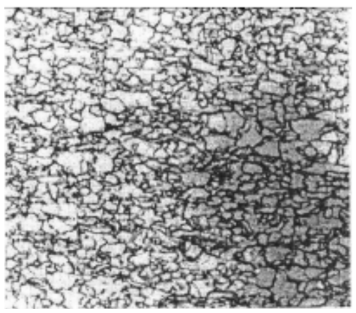


图 12　冷却速度为 5 ℃/s

Fig. 12 The cooling speed of 5 ℃/s

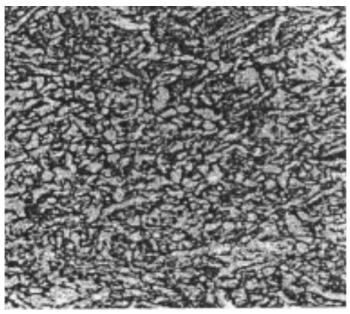


图 13　冷却速度为 10 ℃/s

Fig. 13 The cooling speed of 10 ℃/s

图 8 和图 9 所示)。在棒材的轧制过程中,棒材的终冷温度直接影响棒材的自回火温度,自回火温度一般随冷却水总流量的增多而降低。规格越大,所需冷却水的流量越大。冷却速度对金属组织的影响如图 11—16 所示。

从图 14—16 中可以看出,外层为回火马氏体,在电镜下见到的是“针”状马氏体,晶粒细小,位错密度高,过渡层主要为粒状贝氏体和屈氏体,心部为铁

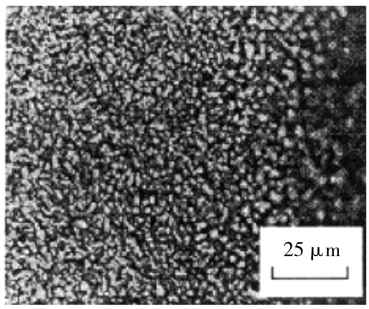


图 14 最外层组织

Fig. 14 The outermost microstructure

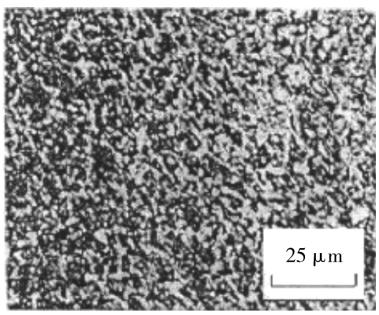


图 15 过渡层(半径)组织

Fig. 15 Transition layer (radius) microstructure

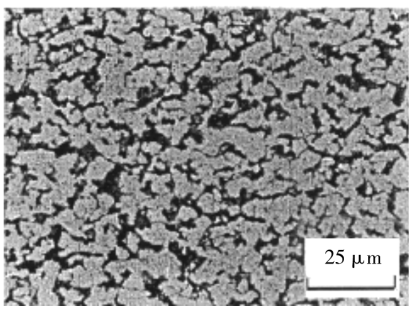


图 16 心部组织

Fig. 16 Inner microstructure

素体和珠光体。随着冷却速度的提高,晶粒变得细小,组织均匀。由此可见,过低的终冷温度(低于 500 ℃)及过高的冷却速度(超过 10 ℃/s),虽然能获得更细的铁素体晶粒,进一步提高了产品的强度,但过低的终冷温度,易得到贝氏体组织,使产品的韧性变坏;过高的冷却速度,在组织中易出现魏氏组织,降低钢的冲击韧性和塑性。

3.3 强度与晶粒尺寸间关系[3]

为了进一步说明细化晶粒和成品棒材的强度关系,做了传统轧制和控制轧制的对比分析。强度与晶粒尺寸的关系如图 17 和图 18 所示。20MnSi 热轧棒材传统轧制与控轧控冷的力学性能对比数据见表 3。

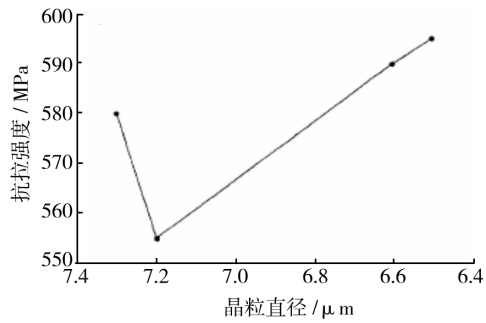


图 17 σ_b-d 关系

Fig. 17 σ_b-d relationship

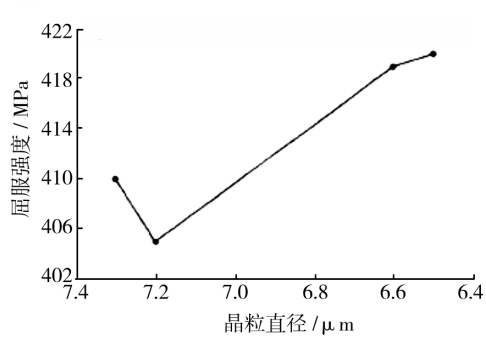


图 18 σ_s-d 关系

Fig. 18 σ_s-d relationship

表 3 20MnSi 热轧棒材传统轧制与控轧控冷的力学性能比较

Table 3 Comparison of the mechanical properties between traditional hot rod rolling and controlled rolling and cooling for 20MnSi hot-rolling bar

轧制方式	抗拉强度 σ_b/MPa	屈服强度 σ_s/MPa	晶粒直径 d/μm
传统轧制	524	385	9.0
控轧控冷	587	420	6.7

从图 17 和图 18 中可知,试样的 σ_s,σ_b 随着晶粒尺寸(d)的不断变小而逐渐增大,即细化晶粒可提高材质的强度。由表 3 可知,采用控制轧制得到的棒材力学性能比传统轧制有了很大的提高,晶粒尺寸更得到细化。和常规轧制相比,对 20MnSi 热轧棒材参数进行控制,抗拉强度提高 60 MPa,晶粒直

径平均缩小 2.2 μm。

4　结语

1) 终轧温度为 850 ℃左右时,以 0.5～2.0 ℃/s 的速度冷却至 650 ℃,得到的 20MnSi 热轧成品棒材组织晶粒更细小、力学性能更高。

2) 和常规轧制相比,对 20MnSi 热轧棒材参数进行控制,抗拉强度提高 60 MPa,晶粒直径平均缩小 2.2 μm。结果表明,在变形工艺、合金成分一定的条件下,加快钢材的冷却速度,降低终轧温度可达到细化晶粒,提高力学性能的目的。

参考文献:

[1] 王占学. 控制轧制与控制冷却[M]. 北京:冶金工业出版社,1988:1－10.

[2] 李胜利,王国栋. 大断面轴承钢控轧控冷工艺的模拟与分析[C]. 2005 中国钢铁年会论文集(第 4 卷),2005.

[3] 王有铭,李曼云,韦光. 控制轧制与控制冷却[M],北京: 冶金工业出版社,2009:1－8.

(上接第 4 页)

[6] CHIOU S T, TSAI H L, LEE W S. Effects of Strain Rate and Temperature on the Deformation and Fracture Behaviour of Titanium Alloy [J]. Materials Transactions, 2007,48(9):2525－2532.

[7] 陈慧琴,郭灵,曹春晓. TC11 钛合金片层组织热变形行为及组织演变[J]. 航空材料学报,2008,28(1):18－22.

[8] MARTINEZ F, MURR L E, RAMIREZ A, et al. Dynamic Deformation and Adiabatic Shear Microstructures Associated with Ballistic Plug Formation and Fracture in Ti-6Al-4V Targets[J]. Materials Science and Engineering A,2007,454(455):581－586.

[9] LIU Wei, ZHANG Zhu, HUI Song-xiao. Study on Mar-contain Properties of TB10 Alloy [J]. Rare Metal Materials and Engineering,2005,34:383－388.

[10] ANDRADE U, MEYERS M A. Dynamic Recrystallization in Highstrain, High-strain-rate Plastic Deformation of Copper[J]. ActaMater,1994,42(8):3183－3194.

[11] 曾卫东,周义刚. 冷速对 TC11 合金 β 加工显微组织和力学性能的影响[J]. 金属学报,2002,38(12):1273－1276.

[12] MEYERS M A, PAK H R. Observation of an Adiabatic Shear Band in Titanium by High-voltage Transmission Electron Microscopy[J]. Acta Metallurgica, 1986,34(12): 2493－3502.

[13] 胡时胜,邓德涛,任小彬. 材料冲击拉伸实验的若干问题探讨[J]. 实验力学,1998(1):9－14.

(上接第 8 页)

参考文献:

[1] E Da-xin, CHEN Ming-feng. Numerical Solution of Thin-walled Tube Bending Springback with Exponential Hardening Law[J]. Steel Research Int, 2010, 81(4): 286－291.

[2] E Da-xin, HE Hua-hui, LIU Xiao-yi, et al. Experimental Study and Finite Element Analysis of Spring-back Deformation in Tube Bending[J]. International Journal of Mineral, Metallurgy and Materials, 2009, 16(2): 177－183.

[3] LI Cheng, YANG He, ZHAN Mei. Effects of Process Parameters on Numerical Control Bending Process for Large Diameter Thin-walled Aluminum Alloy Tubes [J]. The Chinese Journal of Nonferrous Metals, 2009, 19(3):668－673.

[4] LI H, YANG H, ZHAN M, et al. Kou Deformation Behaviors of Thin-walled Tube in Rotary Draw Bending under Push Assistant Loading Conditions [J]. Journal of Materials Processing Technology, 2010, 210(1):143－158.

[5] 鄂大辛,宁汝新,唐承统,等. 弯管壁厚减薄与材料特性关系的试验研究[J]. 材料科学与工艺,2008,16(2):200－203.

[6] 张敬文,鄂大辛,李延民,等. 管材弯曲中起皱行为的试验及有限元模拟分析[J]. 汽车工艺与材料,2011(5):6－9.