

# 热冲压成形新型B钢开发与工艺研究

宋磊峰<sup>1</sup>, 马鸣图<sup>1</sup>, 张宜生<sup>2</sup>, 易红亮<sup>3</sup>, 郭怡晖<sup>1</sup>

(1. 中国汽车工程研究院股份有限公司, 重庆 400039; 2. 华中科技大学材料成形及模具技术国家重点实验室, 武汉 430074; 3. 东北大学轧制技术及连轧自动化国家重点实验室, 沈阳 110819)

**[摘要]** 在传统22MnB5成分基础上添加Cr、Mo等化学元素, 开发出热冲压专用新钢种22MnMoB材料, 并通过金相显微镜、显微硬度计、电子拉伸试验机等设备对22MnMoB材料进行材料性能、材料连续冷却转变曲线(CCT)、热处理工艺性能测试, 通过中试线、热冲压模具等设备测试材料的工艺参数、试制热冲压零件并测试零件性能。试制结果显示, 新开发的22MnMoB材料具有良好的抗短时高温氧化性能、成形淬火后材料组织细小、强度级别与原有22MnB5相当, 但总延伸率大大提高。

**[关键词]** 热冲压; 硼钢; 成分; 抗氧化

**[中图分类号]** TG306 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742(2014)01-0071-05

## 1 前言

2009年, 我国汽车产销量已跃居世界第一, 汽车工业已成为名符其实的支柱产业。汽车产量、保有量增多, 同时也带来了能耗、安全和环保方面三大问题, 汽车轻量化是解决环保、节能的有效手段, 高强度钢板的热冲压成形技术就是一种既能降低车身重量, 又能提高安全性能的轻量化手段<sup>[1,2]</sup>。

由于B元素能够提高钢材的淬透性, 因此目前, 普遍应用的热冲压成形硼钢是22MnB5裸板或以22MnB5为基板的镀层板。经热冲压成形并淬火后, 22MnB5材料的抗拉强度为1 500 MPa左右, 屈服强度1 100~1 200 MPa, 总延伸率( $A_{50}$ )在6%~7%<sup>[3]</sup>。国内目前只有少数厂家供应22MnB5裸板材料, 各大钢厂也正在22MnB5材料基础上, 开发新型的热冲压成形用B钢材料<sup>[4]</sup>。

22MnB5热冲压成形硼钢与传统的高强钢或先进高强钢相比, 强度有了较大程度的提高, 但总延伸率大大降低, 仍然有进一步提高综合性能的可能

性<sup>[5]</sup>。提高热冲压成形硼钢使用强度的难点在于提高强度的同时如何保证良好的延伸率和屈强比, 以及提高钢材在短时高温下的抗氧化性能<sup>[6]</sup>。通常情况下, 随马氏体钢强度的提高, 材料延伸率会有所下降。为保证热冲压成形硼钢具备高的延伸率及抗高温氧化性能, 在材料成分微调与工艺设计上, 考虑提高强度的同时, 保证高的延伸率和屈强比。通常情况下, 22MnB5一般在930~950℃加热3~5 min, 尽管时间很短, 若没有保护气氛的话, 板料出炉—运送—成形过程中会产生大量的氧化皮, 氧化皮的数量越多, 对模具磨损及抛丸处理的难度越大。因此热冲压成形硼钢在成分和工艺上需考虑提高材料抗氧化性能的措施<sup>[7,8]</sup>。

本文在22MnB5基础上通过合理添加Mo、Cr等合金元素, 开发出热冲压用新型B钢, 并通过金相显微镜、显微硬度计、拉伸试验机、Gleeble热模拟试验机、热冲压中试线、热冲压简易模具等手段, 对新开发的22MnMoB材料进行微观组织、力学性能、工艺性能、工艺参数测试, 采用22MnMoB材料试制典型

**[收稿日期]** 2013-10-25

**[基金项目]** 国家科技支撑计划(2011BAG03B02)

**[作者简介]** 宋磊峰, 1984年出生, 男, 重庆市人, 工程师, 硕士, 研究方向为汽车用高强度钢材料工艺; E-mail: songleifeng1984@163.com

零件,对样件进行了材料性能检测、尺寸检验等。

## 2 试验方法

### 2.1 试验材料

根据传统 22MnB5 设计新型热冲压 B 钢成分范

表 1 新型 B 钢与传统 22MnB5 化学成分

Table 1 The chemical composition of new boron steel and 22MnB5

钢种	% (质量分数)											
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Al	Ti	Nb	B	Fe
新型 B 钢	0.22	0.17	1.20	0.012	≤0.003	≤0.25	0.1~0.30	0.027	0.025	微量	0.002 5	余
22MnB5	0.23	0.25	1.2	≤0.02	≤0.003	—	—	0.04	0.035	—	0.003 0	余

### 2.2 力学性能试验

将冷轧退火后的板材切割成方形板材 400 mm×400 mm 板材,将板材在加热炉中 880~950 °C 保温 3~5 min 进行奥氏体化,之后快速出炉,通过保压模具淬火到 90~150 °C 后空冷至室温,对比钢仍采用相同的热成形工艺。然后将发明钢与对比钢加工成 A<sub>80</sub>

围,经电炉(EAF)+精炼(LF+VD)冶炼+连铸+热轧至 4 mm+冷轧至 1.8 mm (退火),对比钢选用商业化生产的 22MnB5 裸板材料,经分析和测试的发明钢与 22MnB5 化学成分如表 1 所示。

非比例试样,进行室温拉伸试验,试样尺寸如图 1 所示。同时在淬火后的板材上切割金相试样,并对组织进行晶粒度评级。将新型 B 钢与 22MnB5 试制的样件进行材料力学性能测试,验证新型 B 钢与 22MnB5 的强度、硬度及延伸率等,样件拉伸试样选用 30 mm 标距的非比例试样,试样尺寸如图 1 所示。

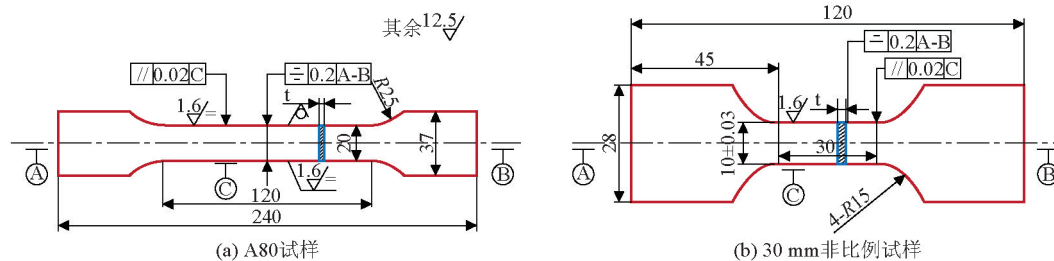


图 1 试样尺寸图 (单位:mm)

Fig.1 The sizes of sample (unit:mm)

### 2.3 氧化性能试验

以国内某车型前防撞梁为研究对象,其中样件尺寸为 1 100 mm×200 mm×100 mm,样件设计重量为 4.2 kg,开展新型 B 钢与 22MnB5 材料抗氧化性能对比试验。将新型 B 钢与 22MnB5 采用的热成形工艺为 930 °C 保温 3~4 min 快冷至 150 °C 出模,加热过程中炉内无保护气氛,采用机械手运送热坯料,成形冷却,然后清理模具及坯料上所有的氧化皮(不包含运送过程中掉落的氧化皮),将新型 B 钢与 22MnB5 重复 3 次试验,氧化皮重量在精度为 0.1 mg 的 AL204 型精密电子天平上称量。零件坯料形状及 3D 数模如图 2 所示。

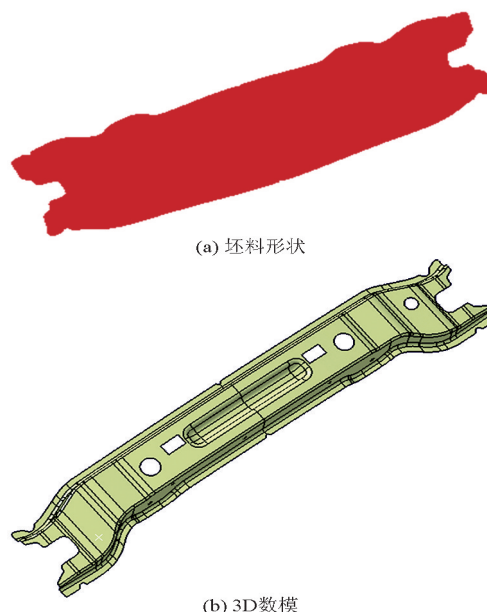


图 2 零件  
Fig.2 Part

## 3 试验结果及分析

新型 B 钢及 22MnB5 材料热处理前力学性能如表 2 所示。由表 2 可知,热处理前材料组织为铁素体+珠光体,新型 B 钢由于加入了 Mo、Cr 等合金化

元素,屈服强度略高于22MnB5。

冷却转变曲线(CCT)、 $A_{c1}$ 点及 $A_{c3}$ 点,如图3所示。

采用金相法+膨胀法测试新型B钢的材料连续

表2 新型B钢及22MnB5热处理前力学性能

Table 2 Mechanical properties of new boron steel and 22MnB5 before heat treatment

钢种	厚度/mm	$R_{p0.2}$ /MPa	$R_m$ /MPa	$A_{80}$ /%	组织
新型B钢	1.8	412	468	29	铁素体+珠光体
22MnB5	1.8	360	470	26	铁素体+珠光体

注: $R_p$ 为屈服强度, $R_m$ 为抗拉强度

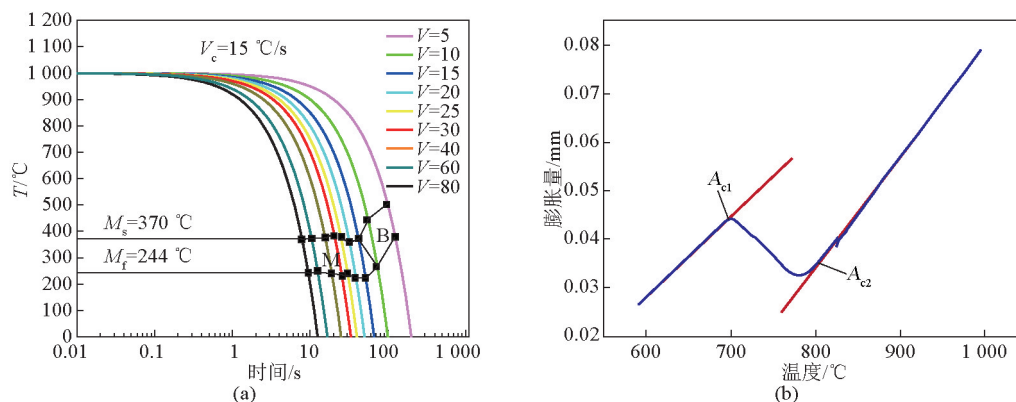


图3 新型B钢 CCT 曲线

Fig.3 CCT curves of new boron steel

注:M为马氏体,B为贝氏体

由图3可以看出,新型B钢临界冷却速度为15 K/s,  $M_s$ 点为370 °C,  $M_f$ 点为244 °C,  $A_{c1}$ 点为699 °C,  $A_{c3}$ 点为800 °C。文献[8]中给出了22MnB5材料临界冷却速度为33 K/s,新型B钢中加入了Mo、Cr等合金元素,降低了材料临界冷却速度,提高了材料的淬透性。

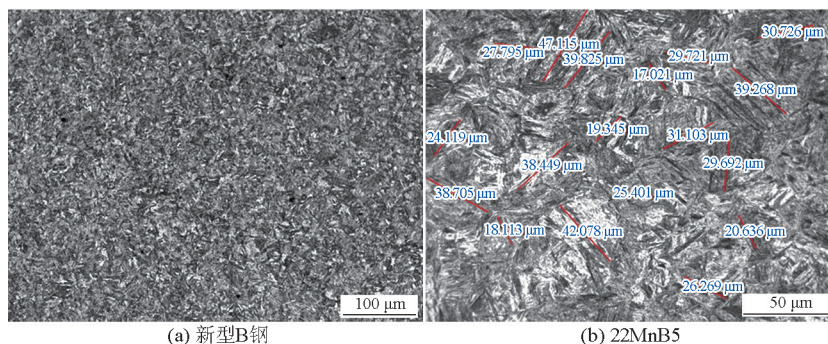
线如图4、图5所示。由图4可以看出,新型B钢与22MnB5材料经固体淬火后组织均为全马氏体,已保证淬火后材料的强度,结合表3的数据可以得出,新型B钢经固体淬火后得到比22MnB5更均匀、细小的马氏体组织,总延伸率也高于22MnB5。这是由于新型B钢中加入了微合金化元素Nb,细化晶粒,为热冲压用结构件和安全件提供高强度的同时,得到了更高的延伸率,具有更为广阔的应用前景。

新型B钢及22MnB5材料通过固体淬火后力学性能如表3所示,材料微观组织及真应力-真应变曲

表3 热处理后力学性能

Table 3 Mechanical properties after heat treatment

钢种	工艺	晶粒度	$R_{p0.2}$ /MPa	$R_m$ /MPa	$A_{80}$ /%	HVI/HV
新型B钢	930~950 °C+3~5 min	11~12	1 080	1 530	11	487
22MnB5	快冷至90~150 °C后缓冷	9~10	1 100	1 500	7	492



(a) 新型B钢

(b) 22MnB5

图4 固体淬火后微观组织

Fig.4 Microstructure after quenching by tools

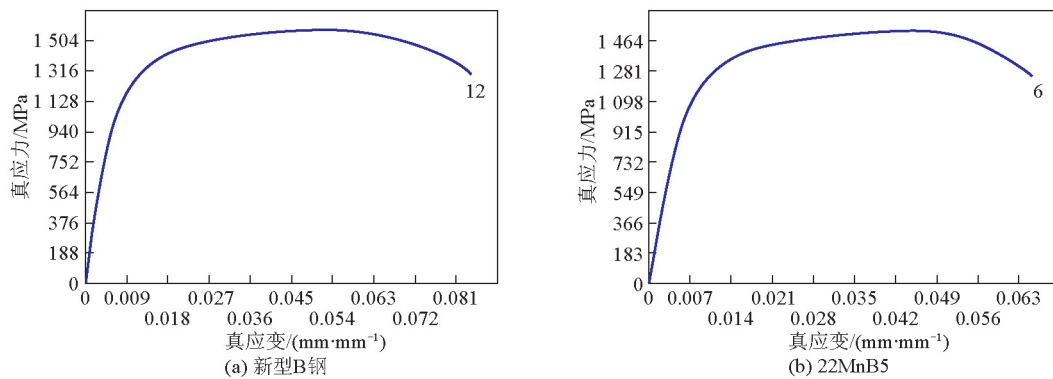


图5 热处理后真应力-真应变曲线

Fig.5 True stress-true strain curves after quenching by tools

新型B钢及22MnB5试制冲压后氧化皮重量及样件性能如表4所示。从实验结果可以看出,由新型B钢试制的样件由于在钢中添加了Mo、Cr等合金元素,相对于22MnB5试制样件而言,在没有保护气氛的条件下,极大地提高了材料的抗氧化性能,

成形后样件表面光亮。同时,新型B钢试制样件与22MnB5样件抗拉强度相当,总延伸率大大提高,在保证热成形安全件和结构件高强度的同时,提高了零件塑性变形能力。

表4 样件性能及抗氧化性能(30标距)

Table 4 Oxide weight and mechanical properties of parts (gauge length: 30 mm)

钢种	热冲压工艺	屈服强度/MPa	抗拉强度/MPa	总延伸率/%	硬度/HV	氧化皮质量/(g·件 <sup>-1</sup> )
新型B钢	930℃+3 min	1 040~1 130	1 470~1 580	10.0~12.0	460~495	38
22MnB5	快冷 150℃出模	1 100~1 180	1 520~1 620	6.0~7.0	485~536	129

采用新型B钢及22MnB5材料试制的样件如图6所示。新型B钢在无保护气氛的条件下,经过930℃保温3 min后经模具快速冷却成形,表面较光亮,氧化皮少,而22MnB5材料在相同的条件下,表面呈黑灰色,氧化较严重。

部有细微翘曲之外,样件模型与设计完全吻合,主体部分的偏差小于0.5 mm,满足零件精度设计要求。

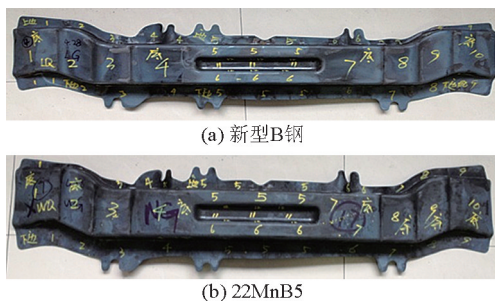


图6 试制样件

Fig.6 Production parts

通过激光扫描仪重建试制样件3D数模,并通过Geomagic Qualify软件将重建的数模与原设计模型进行对比,如图7所示。比对结果发现,除了样件边

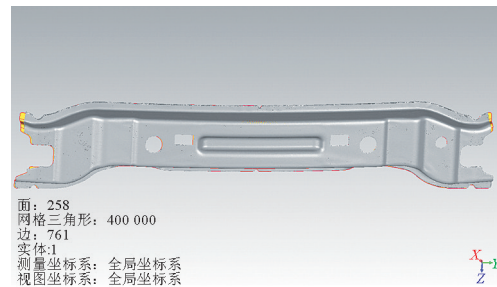


图7 样件扫描数模与设计模型对比

Fig.7 Comparison of the scanning and original model

## 4 结语

1) 在22MnB5基础上通过添加Mo、Cr等合金元素,将新型B钢临界冷却速度降低到15 K/s,与传统22MnB5相比,提高了材料的淬透性。

2) 通过添加Nb等微合金元素,细化晶粒,在保

证新型B钢材料热冲压后高强度的同时,大大提高材料的延伸率,保证零件拥有良好的塑性变形能力。

3) 材料在930℃保温3 min处理过程中,Mo、Cr的氧化物有效抑制基体Fe元素氧化,在无保护气氛的条件下,大大提高了材料抗短时高温氧化性能。

4) 新型B钢通过合理添加合金元素,与传统22MnB5材料相比,提高了材料的塑性变形能力和抗高温氧化性能,在热冲压行业具有广阔的应用前景。

#### 参考文献

- [1] 马鸣图,易红亮,路洪洲,等.论汽车轻量化[J].中国工程科学,2009,11(9):20-27.  
[2] 马鸣图,易红亮.高强度钢在汽车制造中的应用[J].热处理,

2011,26(6):9-19.

- [3] Merklein M, Lechler J. Investigation of the thermo-mechanical properties of hot stamping steels [J]. Journal of Materials Processing of Technology, 2006, 177(1-3): 452-455.  
[4] 徐伟力,艾健,罗爱辉,等.钢板热冲压新技术介绍[J].塑性工程学报,2009,16(4):39-43.  
[5] 马宁,胡平,闫康康,等.高强度硼钢热成形技术研究及其应用[J].机械工程学报,2010,46(14):68-72.  
[6] Song Leifeng, Ma Mingtu, Guo Yihui, et al. Research state of hot stamping[J]. Engineering Science, 2012, 10(3): 46-50.  
[7] 郭怡晖,马鸣图,张宜生,等.汽车前防撞梁的热冲压成形数值模拟与试验[J].锻压技术,2013,38(3):46-50.  
[8] Karbasian H, Tekava A E. A review on hot stamping [J]. Journal of Materials Processing Technology, 2010, 210(15): 2103-2118.

## New boron steel development and process research of hot stamping

Song Leifeng<sup>1</sup>, Ma Mingtu<sup>1</sup>, Zhang Yisheng<sup>2</sup>,  
Yi Hongliang<sup>3</sup>, Guo Yihui<sup>1</sup>

(1. China Automotive Engineering Research Institute Co. Ltd., Chongqing 400039, China; 2. College of Materials Science and Engineering, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China; 3. The State Key Laboratory of Rolling and Automation, Northeastern University, Shenyang 110819)

**[Abstract]** Based on the 22MnB5's composition, new boron steel applied on hot stamping was developed by adding some special chemical elements, such as adding Cr, Mo. Materials properties, materials continuous cooling transformation curves (CCT) and heat-treatment properties of new boron steel were tested by metallographic microscope, micro-hardness and electronic tensile testing machines. Process parameters testing, parts production and part properties analysis were also finished by the middle production line and some other testing equipments. Tests result show that the new boron steel owned great oxidation resistance properties and fine microstructure, the new boron steel and 22MnB5 materials have the same strength levels, but new boron steel have better elongation than 22MnB5.

**[Key words]** hot stamping; boron steel; composition; oxidation resistance