应用技术

热成形钢防撞梁性能研究

吕嘉豪[1]，应苑松[2]
（1. 重庆市实验中学，重庆 401300；2. 重庆大学，重庆 400040）

摘要：目的 研究热成形钢防撞梁的性能及其影响因素。**方法** 使用准静态三点弯曲试验和高速落锤试验，对比了热成形钢防撞梁和传统冷冲压防撞梁的静态承载能力及动态抗冲击吸能性能，使用极差分析方法，分析了各个影响因素的显著水平及最优数据。**结果** 热成形防撞梁的最大变形抗力是传统冷冲压防撞梁的2~3倍，吸能效果是其1.5~2.5倍。热成形工艺参数中，变形温度对热成形钢防撞梁性能的影响最大，其次是加热温度，再其次是保温时间。**结论** 热成形钢防撞梁性能优异，在保证驾乘人员安全的同时，可以实现汽车减重、降低油耗、减少二氧化碳排放。为保证热成形钢防撞梁的性能，在热成形工艺过程中最需要注意的是变形温度。

关键词： 热成形；防撞梁；静态承载；动态抗冲击
DOI： 10.3969/j.issn.1674-6457.2016.01.018
中图分类号： TG376.5 **文献标识码：** A **文章编号：** 1674-6457(2016)01-0096-05

Study on the Performance of the Crash Beam Making through Hot Stamping Process

LYU Jia-hao[1], *YING Yuan-song*[2]
(Chongqing Experimental Middle School, Chongqing 401300; 2. Chongqing University, Chongqing 400040, China)

ABSTRACT: Study on the performance of the crash beam making through hot stamping process and study on the influence factors of the performance. Use the quasi static three point bending test and the high speed drop test to compare of the static bearing capacity and dynamic energy absorption performance of the crash beam making through hot stamping process and the traditional cold stamping process. Use the range analysis method to analyze the significant level and the optimal data of various influence factors. The maximum deformation resistance of the crash beam making through hot stamping process is 2~3 times of the crash beam making through the traditional cold stamping process. And the effect of energy absorption is 1.5~2.5 times. The maximum influence of performance is deformation temperature in the hot stamping process, then heating temperature and holding time. The crash beam making through hot stamping process has a good performance. So it can ensure the safety of occupants, achieve weight loss, reduce fuel consumption and reduce carbon dioxide emissions. The deformation temperature is the most important factor need to be paid attenion to in the hot stamping process.

KEY WORDS: hot stamping process; crash beam; static bearing capacity; dynamic impact resistance.

在汽车产业迅猛发展的今天，我国的汽车产量得到了突飞猛进的增长[1-2]。汽车产业带来经济发展的同时也带来诸多问题，其中行车安全是摆在我们面前最严峻的问题。而在交通事故中，因侧面碰撞引发的

收稿日期： 2015-11-25
作者简介： 吕嘉豪(1998—)，男，重庆人，高中生。
通讯作者： 应苑松(1986—)，女，重庆人，硕士，工程师，主要研究方向为光电检测技术。

事故比例居于第一位,造成的驾乘人员伤亡也是居于首位[3—4]。大多数汽车在侧门加装防撞梁,来减轻碰撞时造成的侧门变形程度,从而减少人员伤亡,所以防撞梁的优劣已经成为评价汽车安全性能的一项重要指标[5]。

热成形钢防撞梁相对于传统冷冲压防撞梁,具有较好塑性变形能力和吸能效果,不但可以保证驾乘人员的安全,还可以减轻车身重量,达到降低油耗,减少二氧化碳废气排放[6—7]。在此基础上,本文从成形工艺出发,对热成形钢防撞梁和传统冷冲压防撞梁的静态承载能力及动态抗冲击吸能性能进行了相应的对比试验,并研究热成形钢防撞梁在热成形工艺过程中的影响因素。

1 热成形加工工艺

热成形技术是把传统的热锻造技术与冷冲压技术相结合的一种制造高强度钢板冲压件的新型工艺技术。它一般使用高强度硼合金钢,因为硼合金钢中含有微量的硼元素,可以提高钢板的淬透性。

使用热成形加工工艺加工硼钢主要过程可以分为两个步骤:将硼合金钢放入加热炉内,使得原始的微观组织铁素体和珠光体充分转变为奥氏体;将板料转移放入带有冷却系统的模具中,将基体组织奥氏体充分转变成板条状马氏体。马氏体钢的强度可以达到1500 MPa以上,因此热成形钢被广泛地应用于防止汽车碰撞过程中变形的加强件,如汽车防撞梁等[8]。

热成形工艺跟冷成形工艺相比,主要区别在于热成形工艺板料上除了存在应力场外,还存在一个温度场。温度场和应力场相互耦合、不断变化,使得板料的微观组织发生变化,微观组织决定物质的性能,导致板料的力学性能得到相应的改变[9]。这个变化过程如图1所示。

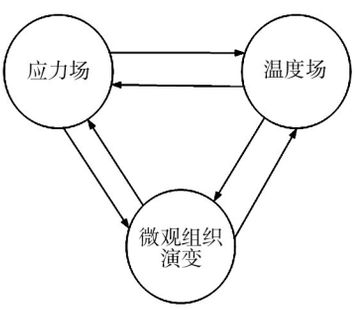

图1 应力场、温度场和微观组织的相互作用

Fig.1 Interaction of stress field, temperature field and the micro-structure

2 热成形钢防撞梁的力学性能

汽车侧面通常是车体中强度和刚度较薄弱的部位。当汽车发生侧面碰撞时,驾驶人员和乘客距离撞击物距离都较近,仅隔着车门20~30 cm的距离,无法像正面碰撞那样有足够的时间和空间吸收碰撞过程中的能量[10—11]。如果汽车发生侧面碰撞将会对驾乘人员造成严重伤害。大多数汽车在前门加装防撞梁,其主要作用就是在发生侧面碰撞时,起到抗撞吸能作用。这就对车门防撞梁提出了两个要求:具有较好塑性变形能力;具有较好的吸能效果。常用检测防撞梁力学性能的方法有准静态三点弯曲试验和高速落锤试验2种。

2.1 防撞梁静态承载性能

评价汽车防撞梁的优劣主要有静态承载性能和动态抗冲击吸能性能两个方面。三点弯曲试验是将标本放在有一定距离的2个支撑点上,在2个支撑点中点上方向样本施加向下的载荷,样本的3个接触点形成相等的2个力矩时即发生三点弯曲[12],其过程见图2。该方法用来测量样本上感兴趣区的承受弯曲载荷时的力学性能。

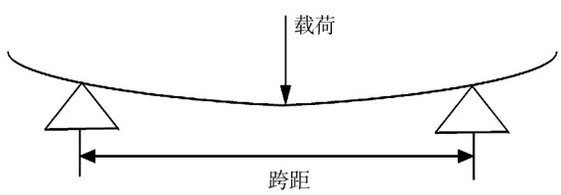

图2 准静态三点弯曲试验

Fig.2 Quasi-static three point bending test

针对传统冷冲压防撞梁与热成形防撞梁,设计了2组准静态三点弯曲对比试验,来分析两种成形工艺生产出的防撞梁的静态承载能力。实验1中的防撞梁使用2.0 mm的DP800钢板与相同厚度的22MnB5热成形硼钢板,实验2将实验1的钢板厚度加大到4 mm,两组实验的压头速度都为1 mm/s。实验结果见图3和4。其中变形抗力表示在材料塑性变形时,变形金属抵抗塑性变形的力,其常用计算公式为:

$$\sigma = P/F \tag{1}$$

式中:P表示某瞬间样板所受的拉伸力或压缩力;F表示断面面积。

从图3和图4可以看出,热成形防撞梁的最大变形抗力是传统冷冲压防撞梁的2~3倍,而且在第一组

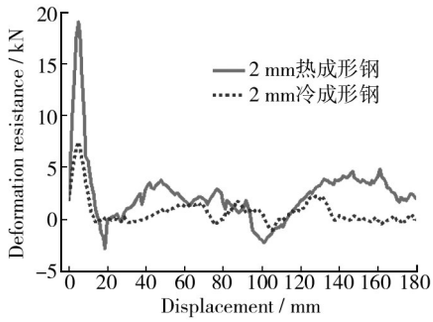

图3 实验1结果

Fig.3 Result of the experiment 1

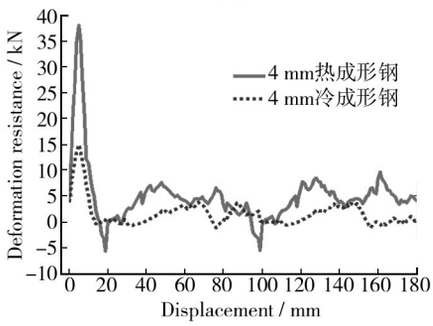

图4 实验2结果

Fig.4 Result of the experiment 2

实验的冷冲压防撞梁的最大变形抗力不满足《乘用车侧门防撞杆技术条件》中，截面最大变形抗力不得小于 12.5 kN 的要求[13]，所以要得到合格的防撞梁产品必须加大厚度，这就使得车身重量增加，违背了国家提倡的汽车轻量化要求。与此同时，热成形钢防撞梁在相同的最大变形抗力下可以减重40%~60%，因此，使用热成形钢防撞梁不但可以提高汽车静态承载能力，还可以减轻车身重量，在保证行车安全的同时达到节能减排的目的。

2.2 热成形钢防撞梁抗冲击吸能性能

汽车防撞梁动态抗冲击吸能性能相比于静态承载性能更为重要，因为只有具有良好的吸能性能的防撞梁，才能有效地保护驾乘人员在受到撞击时的安全。高速落锤试验是将重锤从不同高度落到样本上，以获得落锤高度与样本位移关系的一种冲击试验方法[14]，其过程如图5所示。

针对传统冷冲压防撞梁与热成形防撞梁，设计了2组高速落锤对比试验，来分析两种成形工艺生产出的防撞梁的动态抗冲击吸能性能。实验 1 中的防撞梁使用 2.0 mm 的 DP800 钢板与相同厚度的22MnB5热成形硼钢板，实验2将实验1的钢板厚度加大到4.0 mm，两组实验都采用55 km/h的速度撞击防撞梁。实

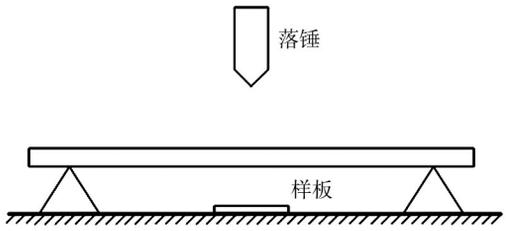

图5 高速落锤试验

Fig.5 High speed drop test

验结果如图6和7所示。

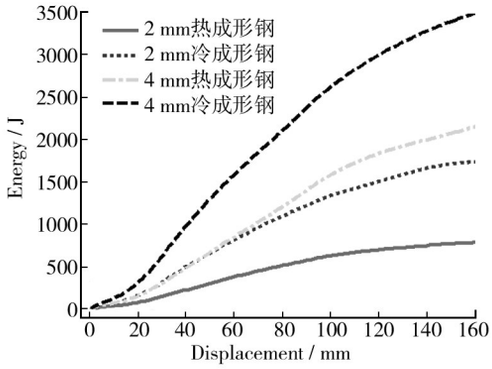

图6 高速落锤实验位移和能量的关系

Fig.6 The relationship of the displacement and energy in high speed drop test

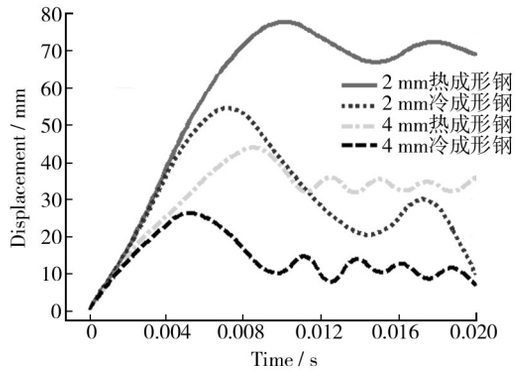

图7 高速落锤实验时间和位移的关系

Fig.7 The relationship of the time and displacement in high speed drop test

从图6可以看出，两种防撞梁在相同的落锤冲击下的吸能-位移曲线变化趋势基本一致，即随着纵向位移的增加，防撞梁的内能呈近似抛物线的形式增长，。但是相同厚度的热成形钢防撞梁的吸能效果是传统冷冲压防撞梁的1.5~2.5倍，因此，在碰撞吸收相同能量的前提下，热成形钢防撞梁的重量将大幅度降低。并且从图7还可以看出，热成形钢防撞梁的位移更小，这更有利于保障驾乘人员的安全。

3 热成形钢防撞梁性能影响因素

热成形钢防撞梁具有如此优异的力学性能主要是因为在热成形加工工艺中,将板材中的铁素体和珠光体转变为奥氏体,再将奥氏体转变为马氏体[15—16]。因此,研究热成形工艺过程中对热成形钢防撞梁性能影响因素是本节的重点。

热成形工艺包括加热、成形、淬火等过程,工艺参数众多,本文主要从加热温度、保温时间、变形温度3个因素来综合考虑其对热成形钢防撞梁性能影响。选取的参数值如表1所示,并且将易测量的硬度和抗拉强度作为本次评价指标。其中硬度是材料局部抵抗硬物压入其表面的能力,抗拉强度是材料断裂时的变形抗力,计算公式为:

表1 各因素参数值

Table 1 Parameter values of various factors

加热温度/℃	保温时间/min	变形温度/℃
800	0	650
850	5	700
900	10	750
950	15	800

$$\sigma=F_b/S_o \tag{2}$$

式中:F_b为材料拉断时所承受的最大力(N);S_o为试样原始横截面积(mm^2)。实验结果见表2。

表2 性能影响因素研究试验结果

Table 2 Result of the performance influence factors

加热温度/℃	保温时间/min	变形温度/℃	硬度HRC	抗拉强度/($N\cdot mm^{-2}$)
800	0	800	43.34	1350.78
800	5	650	41.02	1409.24
800	10	700	42.10	1316.94
800	15	750	40.96	1379.25
850	0	650	29.89	979.19
850	5	800	42.19	1412.01
850	10	750	45.12	1422.53
850	15	700	40.86	1378.94
900	0	750	40.98	1339.30
900	5	700	45.68	1444.26
900	10	650	41.35	1370.98
900	15	800	43.88	1401.74
950	0	700	44.54	1435.15
950	5	750	43.27	1376.53
950	10	800	38.76	1245.62
950	15	650	42.51	1378.36

采用极差分析方法对实验数据进行处理,以得到各个影响因素的显著水平。硬度与抗拉强度为板料力学性能的表现,实验结果趋于一致,其最主要的影响因素是变形温度,最优变形温度 为700 ℃;次要影响因素为加热温度,最优加热温度为 900 ℃;保温时间影响较小,最优保温时间为 5 min。综合考虑3种因素得到最优的加热工艺为:变形温度为700 ℃;加热温度为900 ℃;保温时间为5 min。

4 总结

对比了传统冷冲压钢防撞梁和热成形钢防撞梁的静态承载性能及动态抗冲击吸能性能,并设计了相应的实验。实验结果表明:热成形钢防撞梁的最大变形抗力是传统冷冲压防撞梁的2~3倍,在相同的最大变形抗力下可以将防撞梁减重40%~60%;相同厚度的热成形钢防撞梁的吸能效果是传统冷冲压防撞梁的1.5~2.5倍,可以在保证驾乘人员安全的同时减轻防撞梁重量。

从热成形工艺过程出发,研究了热成形钢防撞梁性能的影响因素,实验结果表明:在热成形加工工艺过程中,最主要的影响因素是变形温度,最优变形温度为700 ℃;次要影响因素为加热温度,最优加热温度为900 ℃;保温时间影响较小,最优保温时间为5 min。

热成形钢防撞梁的性能影响因素较多,但是总的来说其塑性变形能力和吸能效果优异,当汽车发生碰撞时可以保证驾乘人员的安全,是保证行车安全、实现汽车轻量化和降低能源消耗的有效途径之一。

参考文献:

[1] 刘盛.汽车销售领域价格垄断问题研究[J]. 四川理工学院学报,2015,30:103—112.
LIU Sheng. The Price Monopoly Problem in Car Sales[J]. Journal of Sichuan University of Science & Enginering,2015,30:103—112.

[2] MIDYA S,THOTTAPPILLIL R.An overview of Electromagnetic Compatibility Challenges in European Rail Traffic Management System[J]. Emerging Technologies,2008,16(5):515—534.

[3] 伍素珍,郑刚,李光耀,等. 汽车车身结构安全部件材料匹配优化设计[J]. 锻压技术,2015,40(11):85—93.
WU Su-zhen,ZHENG Gang,LI Guang-yao,et al.Optimization Design of Material Matching for Auto-body Safy Components[J]. Forging & Stamping Technology,2015,40(11):85—93.

[4] 李文学,姜潮.车辆正碰安全性的混合可靠度分析[J].计算

机仿真,2012,29(2):358—361.
LI Wen-xue, JIANG Chao.Hybrid Reliability Analysis for Crashworthiness Analysis of Vehicle[J]. Computer Simulation,2012,29(2):358—361.

[5] KATHERINE P,RONALD B,MICHAEL L.Image Construction Versus Empirical Evaluations: Automobile Safety[J]. Criminal Justice Studies,2013,26(4):495—510.

[6] MAJTA J,BATOR A.Mechanical Behavior of Hot and Warm Formed Microalloyed Steels[J]. Journal of Materials Processing Tech,2002,125:77—83.

[7] MORI K,OKUDA Y.Tailor Die Quenching in Hot Stamping for Producing Ultra-high Strength Steel Formed Parts Having Strength Distribution[J]. CIRP Annals-Manufacturing Technology,2010,59(1):291—294.

[8] 易红亮,董杰吉.热成型钢及热成型技术[J].山东冶金,2009,31(5):17—19.
YI Hong-liang, DONG Jie-ji.Hot Forming Steel and Hot Forming Technology[J]. Shandong Metallurgy,2009,31(5):17—19.

[9] 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. Hot Forming Technology of High Strength Steel for Automobile[J].Automobile Technology,2010(8):56—60.

[10] 王小龙,于志刚.基于侧面碰撞的热成型钢应用分析[J].成都大学学报,2014,33(2):163—166.
WANG Xiao-long, YU Zhi-gang. Analysis and Application of Hot-forming Steel Based on Side Impact[J]. Journal of Chengdu University,2014,33(2):163—166.

[11] CHINMOY P, OKABE T, VIMALATHITHAN K.Effect of Weight, Height and BMI on Injury Outcome in Side Impact Crashes without Airbag Deployment[J]. Accident Analysis and Prevention, 2014,72:193—209.

[12] 谢中友,李剑荣,虞吉林.泡沫铝填充薄壁圆管的三点弯曲实验的数值模拟[J].固体力学学报,2007, 28(3):261—265.
XIE Zhong-you,LI Jian-rong,YU Ji-lin.Numerical Simulation of Three-point Bending Experimrnets of Thin-walled Cylindrical Tubes Filled with Aluminum Foam[J].Acta Mechanica Solida Sinca,2007,28(3):261—265.

[13] 俞雁.乘用车车门总成材料轻量化技术研究[C].广州:华南理工大学,2014.
YU Yan. A Study on the Weight-reduction of Automobile Door Assembly[C]. Guangzhou: South China University of Technology,2014.

[14] 黄河,冉文生,王晓军,等.PVC-M管材高速落锤冲击试验机的设计与应用[J].中国测试, 2014,40(增1):72—74.
HUANG He, RAN Wen-sheng, WANG Xiao-jun, et al. Design and Application of High Speed Drop Hammer Impact Testing Machine for PVC-M Pipe[J].China Measurement & Test,2014,40(z1):72—74.

[15] BERNS H,BROECKMANN C.Fracture of Hot Formed Ledeburitic Chromium Steels[J]. Engineering Fracture Mechanics, 1997,58(4):311—325.

[16] 程俊业,陈银莉,赵爱民,等.30SiMnCrB5热成形钢的微观组织和力学性能[J].北京科技大学学报,2014,36(10):1299—1306.
CHENG Jun-ye, CHEN Yin-lin, ZHAO Ai-min, et al. Microstructure and Mechanical Properties of 30SiMnCrB5 Hot Stamping Steel,2014,36(10):1299—1306.

(上接第62页)

Engineering,2012,4(3):34—38.

[13] LI B,MCCLELLAND Z,HORSTEMEYER S J,et al. Time Dependent Springback of a Magnesium Alloy[J]. Materials Science,2015,66:575—580.

[14] YU Hai-yan, AI Chen-chen. Time-dependent Springback Behavior of Transformation-Induced Plasticity Steel[J]. Journal of Mechanical Engineering,2014,50(6):64—69.

[15] LIM H,LEE M G,SUNG J H,et al. Time-dependent Springback of Advanced High Strength Steels[J]. International Journal of Plasticity,2012,29:42—59.

[16] 孙帅,鄂大辛,李悦,等. 典型汽车用板变形滞后回弹的试验及本构建模[J]. 汽车工艺与材料,2014(12):51—54.
SUN Shuai,E Da-xin,LI Yue,et al. Experimental Study and Constitutive Modeling of Time-dependent Springback after Deforming of Typical Automotive Sheets[J]. Automobile Technology & Material,2014(12):51—54.