

高强度钢性能及其在车身中的应用

张燕瑰, 邓劲松, 魏宪波, 赵福全

(吉利汽车研究院, 杭州 萧山 311228)

摘要: 在汽车轻量化与提高碰撞安全性能的基础上, 首先简单介绍了汽车常用钢和汽车用高强度钢种类, 并简述了几种常用高强度钢的强化机制和性能, 概述了2种高强度钢的成形工艺, 指出了其在成形时存在的问题以及改善其成形性的措施。介绍了高强度钢在汽车车身中的应用情况, 展望了高强度钢在未来车身中的应用前景。大量采用高强度钢在加快汽车轻量化进程和提高汽车碰撞安全性能方面有重大作用。

关键词: 高强度钢; 汽车车身; 轻量化; 碰撞安全性

DOI: 10.3969/j.issn.1674-6457.2013.04.017

中图分类号: TG142.1

文献标识码: A

文章编号: 1674-6457(2013)04-0064-05

A Study on Performance of High Strength Steel and Application in Bodywork

ZHANG Yan-gui, DENG Jin-song, WEI Xian-bo, ZHAO Fu-quan

(Geely Automobile Research Institute, Xiaoshan 311228, China)

Abstract: The common automobile steel is firstly introduced based on automotive lightweight and crash safety improvement. The categories of automotive high strength steel (HSS) is then introduced. Furthermore, the strengthening mechanism and performance of some common HSSs are discussed, and the forming technologies of two kinds of HSS are also introduced. The forming problems and measures to improve formability are presented accordingly, and then application of HSS in automotive body is introduced. Finally, the application of HSS in future body is expected. The wide application of HSS plays an important role in accelerating automotive lightweight and improving automotive crash safety.

Key words: high strength steel; automobile body; lightweight; crash safety

随着世界能源与环境问题的日渐突出, 人们对汽车碰撞安全性能要求的不断提高以及环保意识的逐渐增强, 各国对碰撞安全性和环保法规的管制也更加严格。“一高二低”(即碰撞安全性能高、污染低和能耗低)已成为汽车设计过程中所要达到的主要目标之一^[1]。其中降低油耗是应对污染和能耗问题的重要措施之一。汽车油耗除与发动机本身性能有关外, 还和整车质量密切相关。日本专家研究表明: 汽车每减轻10%, 油耗可减少8%~10%^[2-3]。由此得出, 在汽车上增加轻量化材料的

使用量, 可以减轻汽车质量, 从而达到节能减排的效果, 但是, 汽车轻量化与提高汽车碰撞安全性能两者之间相互矛盾。采用轻量化材料, 材料的强度降低, 汽车碰撞安全性下降。车身设计中采用高强度钢能够同时实现汽车轻量化和提高碰撞安全性两个目标。随着汽车碰撞安全性能的不不断提升以及轻量化进程的推进, 高强度钢已逐渐成为了许多新车型车身的主用材。由此可见, 研究高强度钢在车身中的应用, 对于汽车轻量化和提高碰撞安全性能具有重大意义。

收稿日期: 2013-04-11

作者简介: 张燕瑰(1986-), 女, 浙江东阳人, 硕士, 主要从事颗粒增强铝基复合材料的研究。

1 车身常用钢板种类

目前国内汽车用钢板 60% 左右来自于宝钢, 30% 左右来自于首钢、武钢和鞍钢, 还有一小部分则从国外采购。

常用车身钢板主要包括以下几种。

1) 冷轧钢板(DC 系列, SPCC, SPCE 及 St12, St13, St14, St15, St16)。

2) 热轧钢板(SPHC, SPHD, SPHE 及 SAPH370, SAPH440)。

3) 加磷高强度钢(B170P1, B210P1, B250P1, BP340, BP380)。

4) 双相高强钢板(B240/390DP, B280/440DP, B340/590DP, B440/780DP)。

5) 烘烤硬化钢(B140H1, B180H1, BH340)。

2 车身用高强度钢性能

目前汽车的车身材料主要以钢板为主, 通常情况下, 车身质量约占整车总质量的 30% ~ 40%^[4], 因此, 选择同时具备轻量化与高性能两种特质的高强度钢对降低汽车的生产成本, 延长其使用寿命, 降低油耗和提高碰撞安全性等有着重要影响。

2.1 常用高强度钢

国家已公布的汽车用高强度钢大致可分 2 类: 传统高强度钢(CHSS)和先进高强度钢(AHSS), 如图 1 所示。

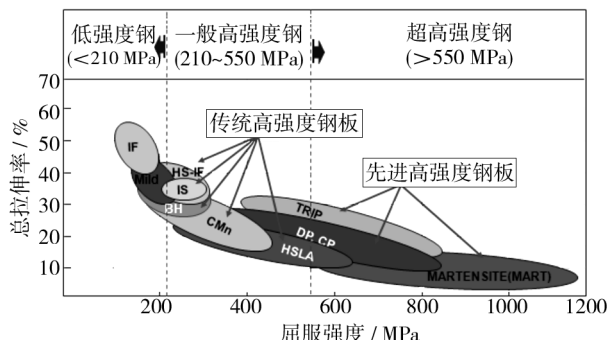


图 1 各种钢板的屈服强度与拉伸率的关系^[5]

Fig. 1 Relation between yield strength and elongation of steel

CHSS 通常是采用固溶强化、析出强化和细化晶粒强化等手段进行强化所得到的钢种, 主要包括

烘烤硬化钢板(BH)、高强度无间隙原子钢(HS-IF)、低合金高强度钢(HSLA)、各向同性钢板(IS)和碳锰钢(CMn)。AHSS 则是指通过相变进行强化所得到的钢种, 其组织中存在 2 种情况: 一种是包含有马氏体、贝氏体和残余奥氏体三相的组织; 另一种是包含有马氏体和残余奥氏体的组织, 通常包括双相钢(DP)、孪晶诱发塑性钢(TRIP)、复相钢(CP)和马氏体级钢(Mart)等^[6]。目前一般所说的高强度钢主要是指先进高强度钢。

2.2 常用高强度钢强化机制与性能

下面简单介绍常用的 3 种高强度钢。

1) 双相钢(DP 钢)。DP 钢的微观组织为铁素体(F)和马氏体(M)。M 弥散分布在 F 基体上, 形成具有良好成形性和高强度的 DP 钢。其微观组织主要是通过亚温淬火等方法得到。DP 钢的强度由 M 的含量决定, M 数量越多, DP 钢的强度越高。DP 钢的优点是: 屈强比低, 具有室温延迟时效性, 加工硬化率和伸长率都较高。这是由于奥氏体(A)在转变成 M 时体积膨胀, 产生了存在于 F 中的高密度非钉扎的位错所致。另外, 双相钢的烘烤硬化性能较高, 碰撞时能吸收很高的能量, 其安全性比普通碳钢高 50%。DP 钢常用于制备形状复杂的高强度结构件。DP 钢是目前所用高强度钢板中最常用的, 通常用于车身上的各种防撞梁、加强板、连接板等。

2) 烘烤硬化钢(BH 钢)。BH 钢的强化机制是残留于钢中的间隙固溶原子碳和氮产生的高温应变时效, 即溶解在 F 中的碳、氮原子聚集在应变产生的位错处, 并被限制其运动。BH 钢的屈服强度低、屈强比低、延展性较好和抗凹性好。主要用于发动机盖板、门外板、行李箱外板、顶盖板。

3) 马氏体钢(M 钢)。钢的显微组织绝大部分为马氏体组织, M 钢的抗拉强度较高, 在 1000 MPa 以上。M 钢通常需进行回火处理以改变其塑性, 使其在如此高的强度下, 仍具有足够的成形性能。

2.3 高强度钢成形时存在的问题及解决措施

2.3.1 高强度钢成形工艺

大多数高强度钢的成形采用冷冲压工艺, 但是对于那些强度高、塑性差以及形状复杂等难成形的高强度钢, 一般采用热冲压成形。

冷冲压工艺成形的零件由于材料的塑性有限, 在成形过程中零件很容易出现起皱、开裂、回弹等问

题,其尺寸稳定性差,易出现加工硬化。

热冲压工艺成形的零件与冷冲压成形的不同,热冲压成形时材料具有良好的塑性,因此在成形过程中零件较少出现起皱和开裂问题,回弹量小,尺寸稳定性良好。另外,热冲压成形中的加工变形和空冷细化了晶粒,提高了其力学性能。

2.3.2 高强度钢与普通钢板成形性对比

以某车型前地板通道为例,分别用 DC04 和 B340/590DP 两种材料进行成形性模拟。根据模拟结果,可以判断出 DC04 和 B340/590DP 两种材料成形性的差异,成形性模拟结果如图 2 所示。

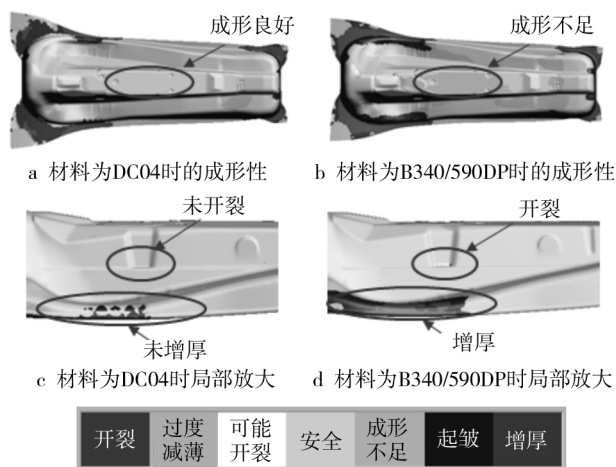


图2 DC04 与 B340/590DP 成形性对比

Fig. 2 Sketch map of formability comparison of DC04 and B340/590DP

图 2a 所示是材料为 DC04 的前地板通道进行成形性模拟的结果,可以看出,该件整体成形性良好。图 2b 所示是材料为 B340/590DP 成形性模拟的结果,可以看出,前地板通道存在多处成形性不充分的区域(椭圆所指区域)。图 2c 和图 2d 分别是材料为 DC04 和 B340/590DP 时该件成形性模拟的局部放大。对比可以看出,采用 DC04 材料进行模拟时未出现开裂区域,而采用 B340/590DP 材料后出现开裂现象。另外,还可以看出采用 DC04 材料时板料未出现增厚的区域,而采用 B340/590DP 材料后板料出现增厚现象,有发生起皱的趋势,如图 2d 中椭圆区域所指。综上所述,高强度钢的成形性较普通钢差。

2.3.3 高强度钢成形时存在的问题

经对比分析,由于高强度钢的碳和合金元素含

量比普通钢高,其成形性能比普通钢差。高强度钢成形时存在以下几个问题。

1) 变形困难。高强度钢屈服强度高,成形时所需的成形力大。

2) 高强度钢比普通钢易开裂。

3) 回弹量大。高强钢与普通钢的弹性模量 E 均为 210 MPa,其抗拉强度较高时,回弹量较大,如图 3 所示。

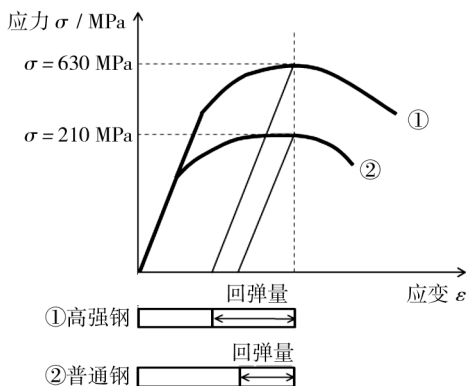


图3 不同强度钢板回弹情况

Fig. 3 Sketch map of springback of steel plates with different strength

2.3.4 改善高强度钢成形性的措施

针对上述成形时存在的问题,零件的成形性能可以通过如下方法得到改善:更改零件设计,降低零件成形深度;增大成形圆角;优化板料尺寸。

零件的回弹可以通过如下方法得到改善:回弹补偿;增加压边力;使用拉延筋;增加凹筋、槽等特征以减小侧壁的卷曲,如图 4 所示;优化板料尺寸;使用校正工序。

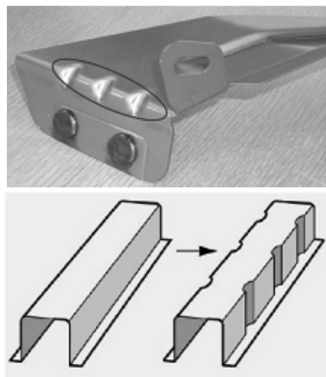


图4 增加筋、槽特征

Fig. 4 Adding characters of bead and groove

3 高强度钢在车身中的应用

目前,许多汽车制造商为了应对世界范围所提出的节能减排要求,必须大量采用轻量化材料。高强度钢的大量应用不仅起到了节能减排的作用,同时还能提高汽车的安全性能,保持汽车的生产成本和提高其回收利用率。

在某车型车身中高强度钢应用情况示意如图5所示。可以看出,该车身中覆盖件大部分采用软钢,而骨架类零件基本上采用高强度钢,尤其是A、B柱主、副加强板,左/右侧围门槛加强板,左/右后门槛连接板等零件,其抗拉强度达到420 MPa以上。通常情况下,高强度钢主要应用于车身A柱、B柱、横梁、门槛加强板等部位。

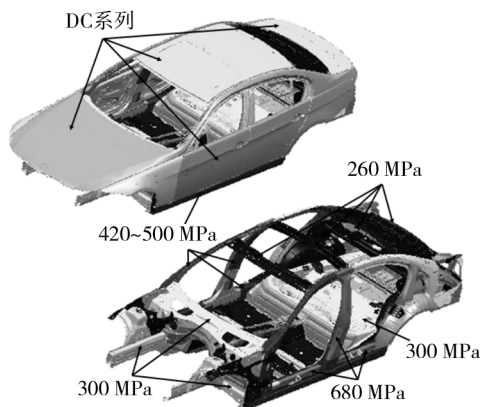


图5 车身中高强度钢应用情况

Fig. 5 Sketch map of application of high strength steel in car-body

下面以某车型为例,介绍了该车型车身中高强度钢在上述主要部位的应用情况。

1) A、B柱加强板。车身零件中的A、B柱加强板(包括主、副加强板)的主要用材有DP590, DP780和DP980等。由于该类零件要求有较高的强度和较好的成形性能(拉延性能),因此,大部分车型中A、B加强板都采用高强度钢,另外有少数车型的B柱加强板采用超高强度钢并采用热成形方式成形。某车型车身中A、B柱加强板零件示意如图6所示。左前柱加强板上/下段和左上边梁加强板均采用B340/590DP,左中柱主加强板的材料采用超高强度钢BTR165。

2) 门槛加强板及横梁类。门槛加强板是超高

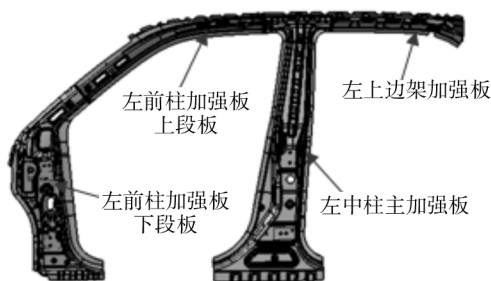


图6 车身中A、B柱加强板零件

Fig. 6 Sketch map of reinforced-A pillar and B pillar in car-body

强度钢非常典型的应用零件,目前为止,宝钢UHSS已在国内多款车型中得到应用。该类零件除了要求板料具有高强度之外,还要求其具有一定的弯曲成形性。门槛加强板的主要用材有:B280VK, DP590, DP780, DP980等。某车型车身中门槛加强板与顶盖横梁的示意分别如图7、图8所示。图7中左侧围门槛加强板与左后门槛连接板同样采用B340/590DP。图8中顶盖前、后横梁和顶盖后横梁加强板均采用B280VK,顶盖中横梁采用B340/590DP。



图7 车身中门槛加强板

Fig. 7 Sketch map of reinforced sill in car-body

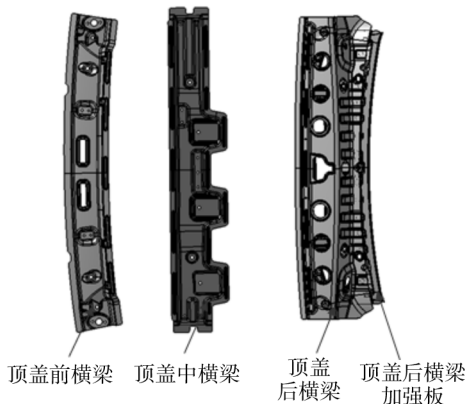


图8 车身中顶盖横梁

Fig. 8 Sketch map of roof cross-rail in car-body

B柱、门槛加强板采用高强度钢时,整个侧面车身形成一个整体的坚实保护骨架,当碰到高速冲击

后,此骨架发挥了高强度钢抗冲击能力高的作用,并带动整个侧面车身零部件整体抵抗高速冲击载荷,从而大大降低了碰撞时车身的侵入量,对提高汽车碰撞安全性有重大作用。同理,顶盖横梁采用高强度钢,同样能提高汽车顶盖的冲击载荷,对提高汽车的安全性能有很大作用。

3) 纵梁类零件。纵梁类零件与 A、B 柱类似,作为车身的侧面,同样需要起到保护作用,只是其保护的主体有所改变,主要保护机舱内部零部件,例如发动机,因此,其板料同样需要具有高强度和良好缓和碰撞中产生冲击的能力。某车型车身中左前纵梁总成中采用高强度钢的零件示意如图 9 所示。

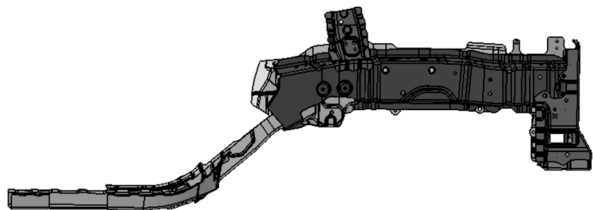


图 9 车身中左前纵梁总成中采用高强度钢的零件示意

Fig.9 Sketch map of longeron assemble LF by high strength steel in car-body

4 前景展望

前期大量研究结果表明,在汽车上应用高强度钢,能够很好地满足汽车轻量化的要求,满足轻量化的同时并未增加生产成本,这是高强度钢的应用能够不断推广的重要原因。

我国高强度钢的研究方向主要从下面几个方面进行。

1) 提高高强度钢材料强度级别。据宝钢相关资料介绍,其拥有国内唯一一条超高强度钢板专用生产线,可以生产最高强度达冷轧 1500 MPa,热镀锌 1000 MPa 的材料。目前为止,980 MPa 及以下强度零件的冲压成形工艺已相对成熟;1200 MPa B 柱零件的成形工艺目前正在研究中。

2) 提高高强度钢的成形性。目前,以宝钢、首钢、武钢、鞍钢为代表的国内多家钢铁公司都在进行针对高强度钢的先进成形方法的研究。目前为止,比较有研究潜力的先进成形方法是液压成形与内高压成形^[6]。

3) 提高高强度钢在车身中所占比例。通常情

况下,高强度钢主要应用于骨架类零件,例如车身边梁、横梁、保险杆、加强板、边梁加强板等。随着高强度钢成形工艺的不断提升,其在车身其他部位的应用也将不断扩大,例如,在前后地板上及机舱中的应用。

由此,在今后的研究中对上述几方面进行深入探讨对于提高我国高强度钢的质量和扩大其应用范围具有重大意义。

5 结语

随着高强度钢成形技术的不断提升,其在汽车车身中的应用会更加广泛,发展前景非常乐观。目前为止,高强度钢大多应用于车身骨架类零件上,在不久的将来,还会应用到整个车身。大量采用高强度钢是实现许多车企所追求的造安全、环保、节能的好车这一目标的重要措施之一。

参考文献:

- [1] BENEDYK J C. Lightmetals in Automotive Applications [J]. Light Metal Age, 2000, 10(1): 34-35.
- [2] 闫康康, 胡平, 郭威. 铝合金板冲压成形 Benchmark 试验与有限元仿真[J]. 农业机械学报, 2009, 40(11): 232-235.
- [3] 敖炳秋. 轻量化汽车材料技术的最新动态[J]. 汽车工艺与材料, 2002, 16(增刊): 1-21.
- [4] 乔晓勇. 从 SGMW 某轿车车身设计看先进高强钢的应用[J]. 企业科技与发展, 2010(14): 16-19.
- [5] 马鸣图. 先进的高强度钢及其在汽车工业中的应用[J]. 钢铁, 2004, 39(7): 68-72.
- [6] 李扬, 刘汉武, 杜云慧, 等. 汽车用先进高强钢的应用现状和发展方向[J]. 材料导报 A, 2011, 25(7): 101-109.