

高强钢热成形技术应用分析

如何才能在日益激烈的市场竞争中胜出,已经成为每一个汽车企业面临的一大难题。物竞天择,优胜劣汰,要想不被淘汰,就要在产品中不断使用新工艺、新技术,高强钢热成形技术就是其中之一。高强钢热成形技术在实现整车轻量化的同时又保证了整车的性能,即在不降低车身结构稳定性的同时减轻了车身重量。本文结合国外汽车行业高强钢热成形技术的发展和热成形零件在江淮汽车上的应用,分析了高强钢热成形技术的工艺流程及高强度钢板热成形零件的基本设计方法。

高强钢热成形技术研究背景

面对全球能源危机和巨大环境压力,汽车工业必须节能减排,车身轻量化是节能减排有效途径之一,但车身轻量化的同时又不能降低车身安全性。如何既保证车身安全性能又实现车身轻量化是问题的关键所在,高强度钢板热成形技术可以很好地解决这一问题。

研究表明:乘用车的重量每减轻10%,油耗将降低6%~8%,排放降低5%~6%。而燃油消耗每减少1L,CO₂排放量则减少2.45kg。

当前和今后的相当长时间内,安全、环保、节能将是汽车制造业发展的主题。采用高强度钢板成形件制造车身及底盘,既可以减轻车体重量又能提高安全性,是同时实现车体轻量化和提高碰撞安全性的最好

途径。高强度钢板在常温下冷成形的最大难度是:回弹量大,难以控制,成形性差,容易破裂。

热成形技术是用高强度钢板生产高强度冲压件的最新技术,是一项为实现汽车轻量化和提高安全性开发的专门技术。国外汽车制造业高度重视高强度钢板的热成形技术,欧洲和北美等地汽车商要求必须使用温热成形高强度冲压件制造车身关键部件,它已成为汽车制造业的发展趋势,市场非常广大。

国内的汽车厂商也开始重视该项技术。但是,该项技术和装备被以德国本特勒公司为代表的国外公司所垄断,设备价格十分昂贵。因此,热成形零件的价格也明显高于普通钢板冷成形件的价格,导致国内目前仅有极少数厂家在高档轿车上采购这种高强度冲压件,远远满足不了国内市场的需要。

高强钢热成形技术国内外应用现状

在国外,热成形技术相关研究与应用已经十分成熟。

德国本特勒公司拥有成熟的商品化生产线,并且在中国、美国、加拿大等国设立分公司,在供应本国多家汽车公司高强度冲压件生产的同时,向国外高价出售生产线,并为高档轿车提供产品件(但是不生产加热炉,加热炉从瑞典购买)。2005年德国大众汽车公司购买了六条生产线用于新型帕萨特轿车高强度钢冲压件的生产;美国通用、福特、克莱斯勒汽车公司的多款高档轿车也在应用该项技术来制造高强度冲压



件；日本本田公司运用该技术使其Honda Civic车型的白车身减轻重量20%，丰田公司的Toyota Prius车型的B柱、前门侧围、后门侧围都采用该技术制造。

在国内，热成形技术相关研究与应用刚刚起步。国内汽车钢板的主要供应商对热成形技术非常重视，已经开展了热成形高强度汽车板的研究，并成功开发出商品化温热成形用高强度硼合金钢板，这无疑会推动热成形技术与装备在我国的发展和应用。

目前国内仅有一两家公司从国外引入生产线，用于一汽—大众速腾、迈腾、宝来、奥迪等几款轿车的A

柱、B柱、前后保险杠等几种冲压件的生产，但耗资十分巨大，国内绝大多数厂家无法负担。

国内一汽、奇瑞、吉利、长安等汽车公司正在迫切寻求用该项技术来制造汽车冲压件。江淮汽车（JAC）在现阶段正处于研发状态的和悦A30和瑞风S5车型上使用了热成形技术，使用的部位分别在门槛外板加强板、B柱外板加强板和发动机舱横向支撑梁上。由于热成形件具有高强度、高硬度、轻量化、无回弹等特点，故在车身上主要用在A柱、B柱、前后保险杠以及一些加强件上。图1为车身上典型的热成形件。

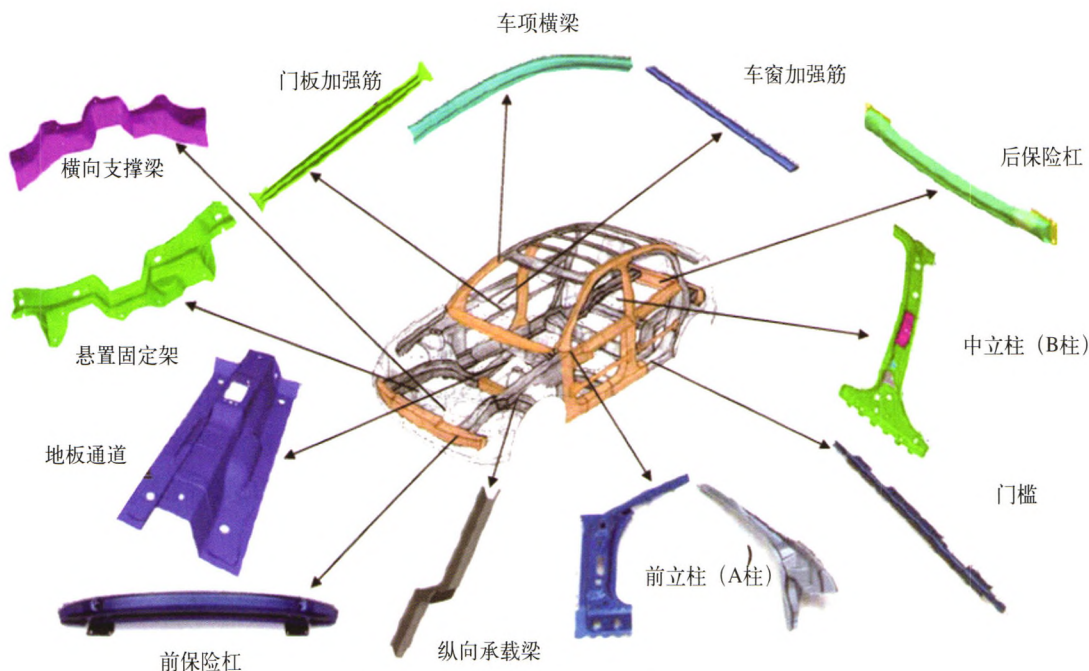


图1 车身上热成形件典型使用部位

热成形板具有极高的材料强度及延展性。一般的高强度钢板的抗拉强度400~500MPa，而热成形钢材加热强抗拉强度就已经达到500~800MPa，加热后则提高到1300~1600MPa，为普通钢材的3~4倍。但又具有普通钢材的韧性，因此由热成形钢板制成的车身极大地提高了车身的抗碰撞能力和整体安全性，在碰撞中对车内人员会起到很好的保护作用。

热成形高强度钢板车身侧面碰撞模拟试验：通过车身变化量进行对比。图2a为普通钢板车身，B柱未采用热成形高强度钢板；图2b为高强度钢车身，B柱采用热成形高强度钢板。



(a) 普通钢板车身 (b) 高强度钢板车身

图2 热成形高强度钢板车身侧面碰撞模拟试验

为说明高强度钢板车身与普通钢板车身在侧面碰撞时的区别，在B柱上选取 P_1 、 P_2 、 P_3 和 P_4 四处不同的部位（见图3），通过四处在侧面碰撞时的侵入量来说明两种车身的安全性。表1为变形侵入量对比数据。

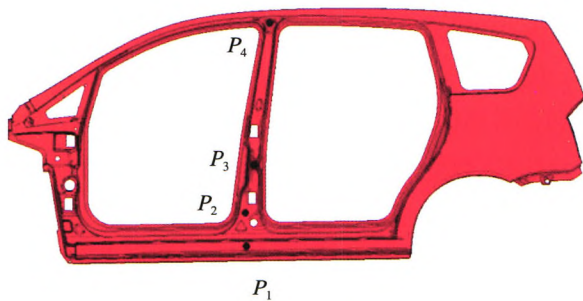


图3 B柱上选取的四处不同的部位

表1 变形侵入量对比 (单位: mm)

B柱侵入量位置	普通钢板车身	高强钢板车身
P_1	297	269
P_2	331	287
P_3	315	258
P_4	36	32

热成形板能有效减轻整车重量, 节约能耗。由于热成形钢板极高的材料强度, 因此在设计车身的时候, 设计师可以用一个热成形零件代替多个普通钢板的零件。如速腾车型前后门中间的B柱, 由于采用了热成形钢板则不再需要加强梁, 在保证强度的情况下减少了五个零件, 减重约4.5kg, 不仅减少了汽车油耗, 还对缩减车主的使用成本起到了辅助作用。

高强钢热成形技术的工艺流程

以高强钢22MnB5Z200为例, 高强钢热成形技术的工艺流程可分为四大步: 第一步, 卷料开平及落料; 第二步, 冷成形工艺; 第三步, 加热及冲压硬化; 第四步, 后序处理。所采用的生产设备部件主要为落料模具、冷成形及切边模具、加热箱、高速传送装置、热成形模具和清洗设备等。

1. 卷料开平及落料

一般来说, 高强钢也是以卷料形式生产、运输及储存的。在实际生产中, 首先进行卷料开平处理, 然后根据产品的结构尺寸进行落料。此步工艺过程与普通钢板生产的工艺流程基本一致。

2. 冷成形工艺

冷成形工艺又分为两步: 第一步, 利用成形模具

首先对产品进行冷成形处理, 此步骤主要是把产品的形状大致成形出来, 由于是高强度钢板, 产品件的回弹现象将比较严重; 第二步, 利用切边模具对产品件进行切边处理。

3. 加热及冲压硬化

本过程是高强度钢板热成形技术最关键一步, 也是最核心的一步。在此步骤中要完成加热和热成形三项重要的工作:

(1) 烤箱加热 把第二步中的冷成形半成品件放在烤箱中进行加热处理, 其中加热的温度又是最关键的参数, 此温度必须使高强度钢板完全奥氏体化。

(2) 高速传送装置 加热好的产品件温度接近上千度, 必须经过高速设备将产品件输送到下一个工位。在此过程中, 如果输送速度较慢, 产品件的温度将得不到保证, 并且由于产品件表面的温度接近上千度, 因此必须采用特殊的传送设备。

(3) 冲压硬化过程 把加热后的半成品件放在热成形模具中进行再次成形。首先, 热成形模具与普通成形模具不同, 热成形模具不仅要耐高温, 而且模具内部必须有冷却水循环系统; 其次是热成形模具压力、成形温度、冷却速率、保压时间等工艺参数的控制。

4. 后序处理

后序处理分为三项内容:

(1) 退火处理 热成形后的产品件温度相对较好, 必须进行退火处理。

(2) 清洗 产品件经过热处理后表面出现大量氧化层, 必须进行清洗处理; 方法可以分为两种: 化学酸洗法和机械法——喷丸、喷砂、滚筒加工。

(3) 涂油 主要目的是为了防止产品表面生锈。

高强钢热成形技术通用工艺流程: 卷料开平→落料→冷成形→冷切边→加热→热成形→退火→激光切割(部分使用)→清洗→涂油。

高强度钢板热成形零件基本设计方法

1. 结构与形状要求

高强度钢板热成形零件在产品设计时与普通钢板零件有所不同, 不能用普通钢板零件设计标准来设计



高强度钢板零件，下面以车门防撞梁为例来说明高强度钢板热成形零件在形状和结构上的要求。

首先，对车门防撞梁做碰撞模拟试验，试验条件：碰撞速度均为50km/h，支撑块间距分别为800mm和600mm。从试验结果可得出：在相同试验条件下，600mm间距时，产品件的最大主应变为0.387；800mm间距时，最大主应变为0.345。

其次，对车门防撞梁做另一组碰撞模拟试验，试验条件：碰撞速度均为50km/h，支撑块间距600mm，第一组车门防撞梁圆角半径 $R=5\text{mm}$ ，第二组车门防撞梁圆角半径 $R=8\text{mm}$ ，试验结果见表2。

表2 车门防撞梁结构设计的差异性分析对比

原始情况		变化内容	
变化前项目	最大主应变	变化后项目	最大主应变
支撑块间距600mm	0.387	支撑块间距800mm	0.345
圆角半径 $R=5\text{mm}$		圆角半径 $R=8\text{mm}$	0.293

综合上述试验，可以得出高强度钢板热成形零件结构设计特点和要求。

2.热冲压与热处理要求

高强度钢板热成形技术中的热冲压和热处理是与普通冷冲压最大的区别所在，也是热成形技术中所特有的要求。这些要求包括：淬火后马氏体组织与硬度的均匀性、热冲压的温度、淬火起始温度与马氏体转化温度、保压时间和压机速度。

3.可焊性要求与焊接方式

高强度钢板与普通钢板可以采用标准的点焊进行焊接，虽然点焊时在焊点处有退火现象，但是这种退火对整个产品件影响有限。连续焊接（CO₂焊）目前还存有问题，主要原因是边界退火现象较严重，影响整个产品的焊接强度。

今后的发展，可以在不同材料之间采用连接技术如激光焊接、粘接、铆接等连接方式，而铆接方式是现阶段使用最多的连接方式。

高强度钢板热成形优点

高强度钢板热成形件与普通钢板件相比，具有以

下四大优点：

- (1) 高强度 高强度热成形件屈服强度 $\sigma_s \approx 1000\text{MPa}$ ，抗拉强度 $\sigma_b \approx 1600 \sim 2000\text{MPa}$ 。
- (2) 高硬度 高达5t的静压不损坏，洛氏硬度可达45~50HRC。
- (3) 轻量化 在强度相同的情况下，高强度钢板热成形件板厚传统钢板减薄达35%。
- (4) 无回弹 高强度钢板热成形件是在钢板加热到完全奥氏体化情况下进行成形，能够消除普通高强度钢板冷成形回弹的影响，零件精度高，成形质量好，是热成形技术最大的优点之一。

高强度钢板热成形技术在江淮汽车的应用

热成形高强度钢板相比普通冷轧高强度钢板，既是同时实现车身轻量化和提高车身安全的最好方法，又是节约能源、保护环境的有效手段。高强度钢板热成形技术在国外已经得到广泛应用。目前，国内已经有不少汽车企业使用高强度钢板热成形零件，例如：奇瑞、华晨、海马、长安等。江淮汽车在新车型瑞风S5及和悦A30使用了高强度钢板热成形技术。下面以瑞风S5车型B柱外板加强板热成形零件为例。

1.瑞风S5车体B柱加强板总成结构方案对比

瑞风S5车型B柱总成冷成形方案如图4所示，总成由六个冲压件拼焊而成，冲压件均为冷轧零件。其中，B柱加强板上段和B柱加强板下段为激光拼焊板。

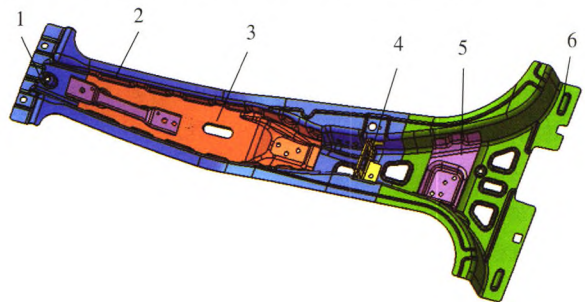


图4 B柱总成冷成形方案

- 1. B柱加强板上段 2.安全带安装板 3.铰链加强板上段
- 4.B柱内部支架 5.铰链加强板下段 6.B柱加强板下段

瑞风S5车型B柱总成冷成形方案冲压件具体情况见表3。

表3 瑞风S5车型B柱总成冷成形方案冲压件

名称	厚度/mm	材料	质量/kg
B柱加强板上段	1.2	B1500HS (合并)	2.222
B柱加强板下段	1.2		1.565
安全带安装板	1.2	DC01	0.112
铰链加强板上段	1.0	B210P1	0.275
铰链加强板下段	1.5	B210P1	0.295
B柱内部支架	1.5	B340LA	0.111

瑞风S5车型B柱总成热成形方案如图5所示。总成由六个冲压件拼焊而成，其中B柱外板加强板材质由激光拼焊板更改为整体热成形板材，料厚统一为1.2mm。更改了铰链加强板上段的结构，同时弱化了铰链加强板上段和下段的材质，铰链加强板上段材质由B410LA弱化为B210P1，铰链加强板下段由B340LA弱化为B210P1。

瑞风S5车型B柱总成热成形方案冲压件具体情况见表4。

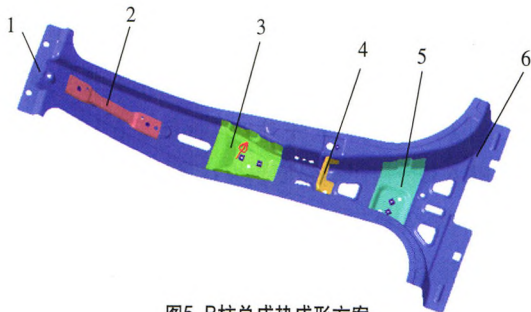


图5 B柱总成热成形方案

1.B柱加强板上段 2.安全带安装板 3.铰链加强板上段
4.B柱内部支架 5.铰链加强板下段 6.B柱加强板下段

表4 瑞风S5车型B柱总成热成形方案冲压件一览

名称	厚度/mm	材料	质量/kg
B柱加强板上段	1.5	B410LA（激光 拼焊）	2.777
B柱加强板下段	1.0		1.304
安全带安装板	1.2	DC01	0.112
铰链加强板上段	1.0	B410LA	0.696
铰链加强板下段	1.5	B340LA	0.295
B柱内部支架	1.5	B340LA	0.111

2.瑞风S5车体B柱加强板总成成本方案对比

对瑞风S5车体B柱加强板总成冷成形与热成形两种方式的成本进行了详细的对比：

- (1) 制件重量 左右B柱总成共减重1.42kg。
- (2) 材料利用率 B柱内板加强板冷成形材料利用

率为43%，热成形为59%，总成冷成形多用8.4kg（约合人民币115元，其中激光拼焊费用高）；在废料回收上，冷成形废料可由主机厂进行回收，3.5元/kg，可回收约45.6元/车。

(3) 模具费用 热成形模具费用高于冷成形模具约526万元。

(4) 加工费用 热成形工艺加工费用高于冷成形约35元/车。

(5) 制件费用 10万件公摊内，热成形约比冷成形单车高16.9元/车。

(6) 制件运输费用 B柱外板加强板单件由上海运往合肥费用为7元/件。

3.热成形件精度及质量控制

热成形件是高强度钢板在被加热到AC3左右（充分奥氏体化后）进行成形，完全消除冷轧高板成形后的回弹现象。因此，热成形制件尺寸精度较高：型面公差控制±0.5mm，一般型面公差±0.7mm；功能孔尺寸公差±0.2mm，位置公差±0.2mm，定位孔尺寸公差±0.1mm。

国内使用的高强度钢板一般为抗拉强度为400～600MPa的BORON，在步进炉内加热奥氏体化后进行成形并冷却，热成形件的屈服强度可达(950±100)MPa，抗拉强度达(1400±50)MPa，可以大大提高车身的安全性能，同时实现车身轻量化。

结语

江淮瑞风S5车型在左右B柱外板加强板、左右侧门槛外板加强板上使用了热成形零件。热成形零件首先提高了车身的安全性能，保证了驾乘人员的人身安全；其次热成形零件的应用实现了车身轻量化，降低能耗，保护了环境；最后，高强度钢板热成形技术的应用，有效解决了冷成形板件回弹这一冲压难题。

随着江淮汽车规模的扩大，车型不断开发，通过热成形零件在瑞风S5、和悦A30车型上的成功应用，为江淮汽车后续车型在B柱加强板、门槛及更广泛的零件设计提供了借鉴。

关键词：
高强度 热成形技术 车身轻量化

(收稿日期20130506)