

汽车热成形零件冲压工艺

□ 昂登坦汽车工程（上海）有限公司/李二玲

本文通过搜集多家车企热成形项目信息，并结合工艺及生产经验，介绍了热成形工艺与模具开发流程、热成形零件分类及工艺，重点阐述了补丁板与门环等热成形新工艺特点，提供绿色开发方案，供行业技术人员参考。

随着轻量化、安全性等关注点的提升，更薄钢板、更高强度的热成形零件在白车身上应用越来越多。由于热成形技术的突破，冲压生产线数量增多，钢板制造能力提升，热成形零件成本逐渐下调，覆盖至低端车市场，故热成形零件技术开发尤为重要。

热成形工艺简介

热成形工艺是指将超高强度钢板在料片状态下，利用自动化吸盘/抓手工装取料至辊体炉（炉内温度保持 $850\sim 930^{\circ}\text{C}$ ，生产线见图1），加热到奥氏体温度范围，待钢板组织变化完成后，再利用自动化抓手移动到模具型腔，进行冲压。在压机保压状态下，通过模具中的水道进行淬火冷却，最后获得抗拉强度 $1\,300\sim 1\,800\text{MPa}$ ，零件内部组织为板条状马氏体的状态。一般情况下，热成形模具生产的零

件称为半工序件，需转到下一工序激光设备（见图2），在支架上切割孔和切边，最终获得全工序件。



图1 热成形生产线



图2 激光切割机

目前热加工零部件厂家广泛使用激光切割机进行后序加工，而不是直接再开发冲孔修边模具。主要原因是，成形之后的零件强度高，对模具冲头和镶块要求高，且其寿命短，造成模具开发成本高，无法满足批量生产。而激光切割的缺点是生产节拍长（若按照单模单件产能评估，半工序零件节拍为3件/min），个别零件出现定位偏差问题。解决方案是每条热成形生产线配备5~7台激光切割机，以提升设备利用率，同时，对切割支架做多个感应功能处理，以提升切割精准度。

根据生产经验，与冷冲压对比，热成形零件优缺点如下：

（1）优点：零件成形性好，一般强度高、结构复杂，且成形后，强度大幅度提升，材料表面的硬度和耐磨性提高，零件回弹小，尺寸合格率高，提升车身安全性，易于实现整车轻量化和低油耗。

（2）缺点：生产设备成本高，维护频率高，特别是无Al-Si镀层对设备损害较大；生产节拍迟缓，工艺复杂；废品率高，零件成形后，后期难修正；受材料和设备限制，零件成本高。

热成形模具生产

1. 模具开发流程

常规热成形模具开发流程：客户下发产品数模→工艺及模面设计→CAE分析→工艺会签及优化→模具结构设计→水道分析设计→铸造及机加工阶段→装配与调试→首样件尺寸、理化检测与模具优化→模具交付。应用于生产的模具如图

3所示。

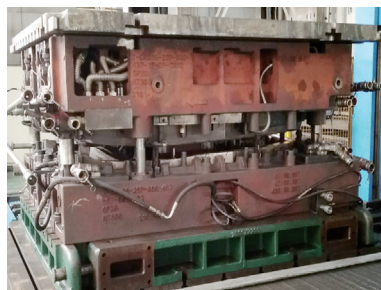


图3 某车型热压上下模

2. 模具开发与生产关键技术

热成形模具的开发与常规冷冲压模具有一定区别，且生产过程差异性也很大，所以在开发与生产过程必须考虑以下问题：

（1）冲压工艺分析阶段，因零件受热后转移至模具型腔冲压，并随之冷却，应考虑零件热胀冷缩的尺寸补偿工艺及型腔材质。

（2）冷却水道布局、规格、距离型面大小和循环方式等工艺，需做水道分析设计，保证零件冷却过程均匀。

（3）模具结构设计考虑使用的压机线技术参数，常见压机吨位为800~2 000t。

（4）上下模镶块的尺寸规格。

（5）零件在模具上定位方案（或设计支撑机构），确保定位精准，冲压过程零件不移动。

（6）水路、油路和气路等装备型号要保持一致性，方便后期更换。

（7）生产过程中辊体炉、零件和冷却水温度等，需实时监控，形成数字化、自动化监控，否则，零件会出现多种颜色，且影响零件性能。

热成形零件分析

车身的热成形零件主要有A柱、B柱、防撞梁、门槛、中通道、横梁、前后保险杠、侧围加强板和后地板纵梁等，车身结构如图4所示。

1. 零件常用原材料

通过梳理多个车企的多种车型、几百种车身零件信息，得出：热成形零件常用钢板厚度为0.8~2.5mm，其中料厚1.2~1.8mm最为常见，具体信息见表1。

每家车企在设计白车身时，相同功能性零件的厚度基本接近，材料牌号因不同厂家，内部代号有差

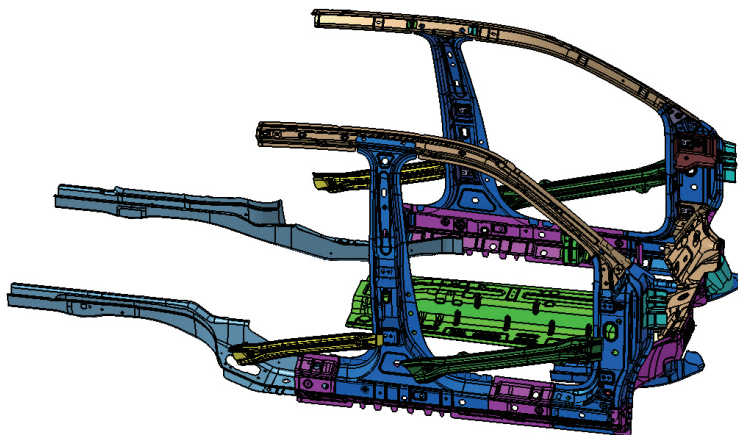


图4 车身结构

表1 各车企常用热成形材料信息

零件名称	料厚范围/mm	常规材质信息
A柱内板	1.4~1.6	SGM（通用）体系常用牌号： GMW14400M-ST-S-HS1300T/950Y-MS-AS60G60G-U VW（大众）体系常用牌号： TL4225+AS150（AS代表铝硅镀层，后面数字代表单位面积重量，数值大小因材料而已） CJLR（路虎）常用牌号： STJLR 50.5176 BORON + 50.50.42 ALSI 吉利常用牌号： HC950/1300HS和Usibor 1500P（Al-Si）
A柱外板	1.2~1.4	
B柱	1.6~2.0	
中通道	1.4~1.8	
门槛外板	1.2~1.4	
门槛内板	1.6~2.0	
防撞梁	1.6~1.8	
前保险杠	1.8~2.0	

异，其化学牌号为22MnB5，分为带铝硅镀层和无镀层两类，行业称为“镀层板”和“裸板”，从工艺和成本对比，其优缺点见表2。

表2 镀层板与裸板优缺点对比

对比项目	镀层板	裸板	优缺点
材料成本	高	低	镀层板价格高，且有专利限制
冲压	好	可接受	裸板热压产生氧化皮，需抛丸清除，影响尺寸合格率
焊接性	可接受	好	裸板表面氧化皮去除后，其焊接性能优
加工成本	低	高	裸板增加抛丸工艺，成本增加2~4元/件
电泳	好	可接受	若裸板氧化皮清除不干净，涂装工艺受影响
耐蚀性	好	差	镀层板不易生锈，裸板抛丸后涂防锈油但易生锈

目前能够批量提供原材料的企业，国外主要为阿赛洛（Arcelor）、瑞典SSAB、蒂森克虏伯（ThyssenKrupp）、VAMA、慕贝尔和新日铁等，国内企业宝钢、马钢等只能生产裸板。

2.热成形零件分类及成形工艺分析

随着热成形板材、设备、冲压能力等方面的突破与创新，产品逐渐从等厚板（Hot Forming）转变至辊压不等厚（TRB，又称差厚轧制板）、激光拼焊板（TWB）、软硬分区（Soft Zone）和补丁板（Patch Work Bank），共计5类。

（1）等厚板。等厚板是热成形发展最早的材料样式，整个零件料厚一致，无差异，属于最常见的一种钢板材料，也是热成形钢板中成本最低的，常用于门槛、保险杠、纵梁和横梁等车身部件。生产过程表现为受热均匀，冷却均匀，与软硬分区零件有区别。

（2）TRB板。TRB是一种用变厚度轧制方法生产的纵向变厚度板材，可根据载荷变化特点来设计板材的厚度和形状，一般是零部件厂家向钢板厂定制料片，不同料厚之间有一定材料过渡区。与TWB材料相比，TRB在薄厚区之间有一个连续的厚度过渡区，没有焊缝，避免厚度突变处的硬度

峰值和应力峰值，也可避免焊接所引起的热影响区域，使材料性能均匀。且在减重、表面质量、力学性能和生产成本等方面有优势。

该材料开发晚于TWB，常用于车身B柱及A柱上加强板、中通道和横梁等。以某车型B柱为例，其3D零件如图5所示，料片展开如图6所示。

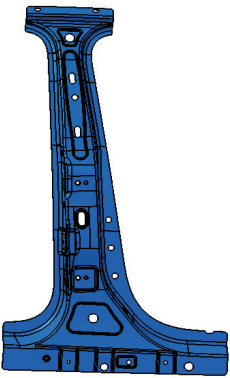


图5 B柱3D数模

（3）TWB板。激光拼焊可以将不同等级、不同强度和不同厚度的钢板激光拼接后用于合适的零部件位置，从而最大限度实现汽车减重并提高安全性。热冲压和激光拼焊相结合，可以解决绝大多数汽车零部件对轻量化的要求。此类拼焊板由两三个工件焊接而成（见图7），也有全新侧围门环整体热成形方案（见图8）。

特别是新型门环，把传统车身

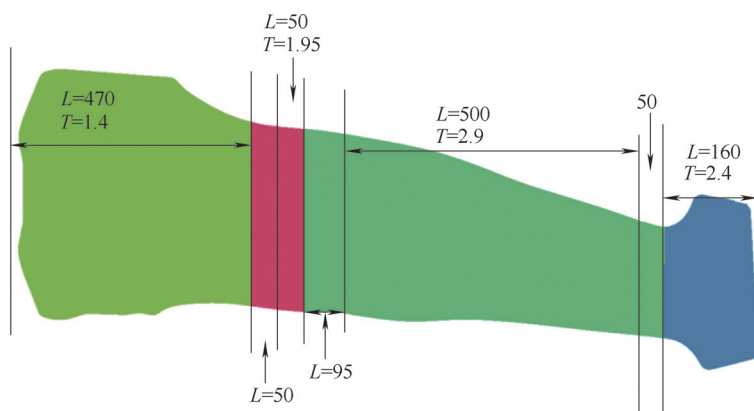


图6 料片展开

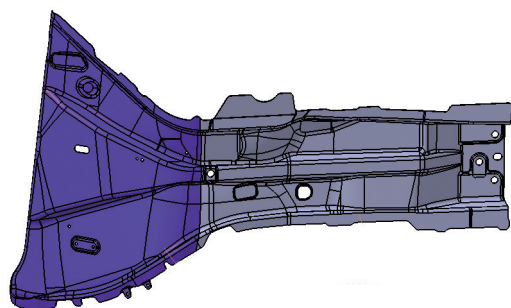


图7 后纵梁3D数模

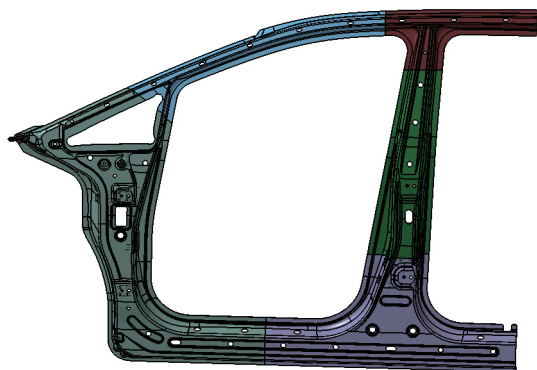


图8 一体式门环3D数模

A柱、B柱、H柱及门槛等在料片状态下整体激光焊拼接，然后再热成形加工，转激光切割（获取门环单件），转焊接工作站进行门环和内部加强件焊接，最终获得侧围门环总成。因其多料片拼焊之后冲压，大大减少模具开发数量，减少后期零件之间搭边连接方式，减轻零件质量，在行业称之为“绿色门环”。拼焊板冲压成形能减轻车重，提高整体刚度，该成形技术已由厂家开始进行产品生产验证，其

中，CAE分析零件变薄率-15%，符合技术要求。工艺与结构设计过程应特别注意料边线预留量、焊接线位置、数值模拟分析过程、回弹补偿以及工序之间上下料等问题，潜在失效风险主要表现在A柱下板（H柱）变薄超差、法兰边起皱和型面尺寸超差等方面。

(4) Soft Zone板。又称为软硬分区，随着高强钢及热冲压成形技术在汽车工程中的推广应用，除了提高汽车结构件强度外，还要

考虑零件力学性能与车身安全性要求相匹配的问题，即同一零件的不同区域实际上有着不同的力。此类材料常用于汽车B柱、纵梁等，一般分为两种：一种是零件一端是软区，另外一端是硬区；另一种是两端是硬区，中间是软区，但两种形式软硬区之间都有过渡区。通过模具内部冷却温度不同或者加热炉尾部改造的方式，实现零件上不同位置的软硬区。

如B柱零件，上部需一定强度保证汽车在承受冲击时车体完整，下部较好的延展性吸收能量，防止碰撞侵入，图9所示为带补丁板的软硬分区B柱零件。

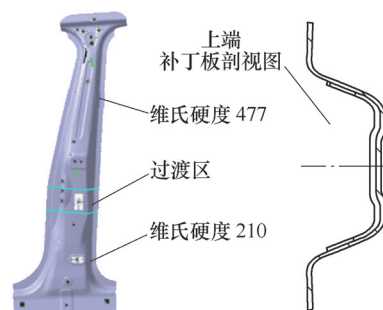


图9 某车型B柱（软硬分区+补丁板）

(5) Patch板。又称为补丁板，一般是由两块等厚板在料片状态下使用点焊焊接，连接一体，然后再热压成形，满足产品强度设计需求。这样可节约1套模具开发和后期热成形钢板之间的点焊，规避热成形焊接风险，也是热成形绿色技术。相对于传统热成形，补丁板热成形技术难度更大，在热成形CAE分析、补丁板焊接工艺、模具开发和补丁板区域温度控制等方面存在诸多技术瓶颈。汽车A柱、B柱等常用该类工艺，一般情况下，零件的主板厚度比内部加强板大0.2mm或者两者板厚相同，也有主

基于过程质量控制的品质管理研究

□ 上汽大众汽车有限公司/邹维玮 晁志峰 周宇斌 郭勇

本文介绍了基于统计学的过程质量控制方法相较于传统以产品检验为重点的品质管理方式的优势，采用概率积分变换理论将基于统计学的过程质量控制方法真正应用于生产过程要素的控制。通过对生产过程要素的监控可提前发现风险点，并采取措施进行控制，有效节约质量成本。

过程质量控制的意义

针对重要缺陷的传统品质管理以采取质量控制小组（QC小组）的形式展开，在缺陷已经发生后，通过对生产过程的人、机、料、法、环和测六个方面的分析找出缺陷发生的原因并进行整改。但是，这种分析方式通常是在缺陷问题发生之后，并且需要做大量的

调查和数据分析工作，缺陷的解决也存在滞后性。由于工作量巨大，花费时间较长，在分析阶段缺陷仍不能有效解决，而且需要花费大量的人力、物力应对缺陷问题，付出很高的质量成本。图1所示为汽车厂传统的品质管理方式，由于产品管理的滞后性往往会产生较多的返工量及报废车，要付出较高的质量成本。

板厚度比内部加强板小0.2~0.6mm的情况。以某车型A柱为例，料片状态如图10所示。

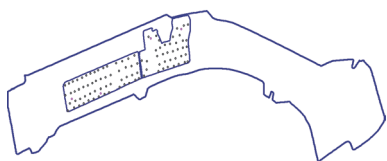


图10 A柱料片

补丁板工艺设计过程应注意料片点焊和成形后焊点检测。料片点焊可使用自动化工作站（焊接机器

人+夹具），落料时，预留两个定位孔，以便料片在夹具上定位。为了防止左右件料片在夹具上放反，可设计两个不同规格的定位孔，且一个是圆孔、一个是长圆孔，同时在焊接夹具上增加感应器，防止零件放错。零件热压调试过程应避免焊点处在R角位置，否则，容易造成焊点脱落或拉裂；调整最优焊接参数，避免焊点毛刺对模具型腔划伤。

结语

随着汽车节能减排、轻量化和安全性不断提升，热成形零件在白车身的比例会逐步提高。通过文中对五类热成形工艺描述，总结如下：目前国内零部件厂商在模具设计处理软硬分区板热压技术时，与国外公司相比，技术较落后。Patch板和TWB板应用会更加广泛，特别是一体式门环，是新技术发展趋势。AUTO1950