

集成激光拼焊和补丁板工艺热成形零件的开发

文 | 刘鹏、尤宝卿、柯亮、茹承曦、聂飞、王伟、徐东生 · 东风（武汉）实业有限公司

引言

随着汽车工业的快速发展，安全、环保、舒适及节能已经成为当前汽车制造业追求的目标，采用超高强度钢板制造车身零件是实现车身轻量化和提高汽车碰撞安全性的有效途径。但是强度越高，传统冷成型就会越困难。热成型作为一种能显著提高零件强度且通过奥氏体化能有效保证成形性的工艺，自瑞典 Plannja 公司提出该技术并申请专利以来，已经在汽车安全件、结构件上得到广泛应用。

随着各种形式新能源汽车的普及，由于动力系统的巨大变化，整车重量普遍提升数百公斤，这给车辆的被动安全和

动力性经济性提出了很高的挑战。为适应这种变化，白车身的安全件需要兼顾加强和轻量化，这就为更高强度的热成型钢应用创造了机遇。并且我国“十一五”汽车产业发展规划中提出“扩大新材料和轻量化技术应用范围”为未来的重点研究发展项目，且国家已颁布的《乘用车燃料消耗量限值》以整车整备质量来确定汽车的耗油量，从 2015 年初 6.9L/100KM 的油耗目标到 2019 年 5.5L/100KM 的油耗目标，对整车的要求越来越高，且对驾驶员及乘客的安全保护要求越来越高，更已增加正面 25% 偏置碰撞，因此在保证安全的前提下尽可能减轻车身自重已成为汽车工业的重中之重，而多种热成形

表 1			
车辆的轻量化 Weight Lighten of Vehicle	新工艺 New Process	热成形 Hot Forming	软区 Soft zone
		温成形 Warm Forming	辊压不等厚板 Tail Roller Blank
		液压成形 Hydraulic Forming	补丁板技术 Patched Blank
		滚压成形 Roll Forming	激光焊接板 Laser Welding Blank
			定制化强度 Customized strength
	新材料 New Material	铝板 Aluminum	
		新一代超高强刚 New UHSS	
		镁合金 Magnesium Metal	
		碳纤维 Carbon Fiber	
		玻璃纤维 Glass Fiber	
			

工艺共存，定制化强度的技术方案也因此而得到研发与应用。

车身轻量化工艺分布

随着车身安全性能及轻量化要求的不断提高，1500Mpa级别的热成形材料工艺以无法满足现有的车身工艺，随之应用产生的方向目前发展成两种：2000Mpa 级超高强度热成型材料的应用和集成多种热成型先进工艺混合应用的定制化强度，本文将从应用实际、产品设计、相关实验等方面重点研究集成多种热成型先进工艺混合应用。

应用产品展示

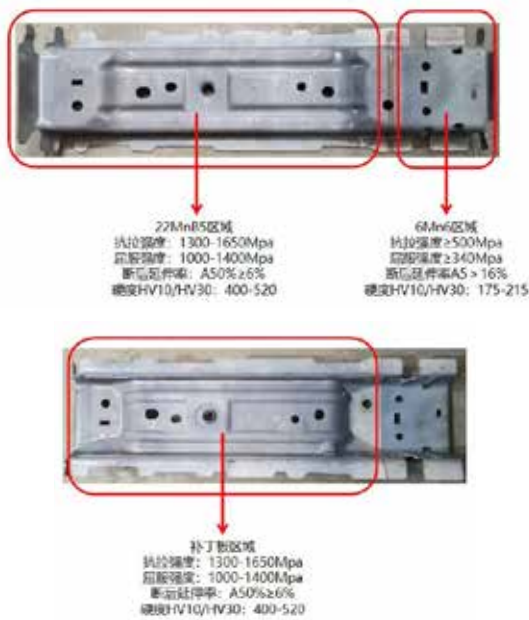


图 1

如图 1 所示，展示产品为集成激光拼焊板和补丁板两种先进工艺产品，且激光拼焊线和补丁板重叠，从而进一步增加了产品开发的难度。该产品集成了热成型先进工艺中激光拼焊技术和补丁板技术两种工艺，为目前市场上为数不多集成多种热成型先进工艺的典型产品。

成本对比说明

以图 1 产品所示，拟两种工艺方案可以实现该产品的前

端高强度、后端低强度、中部超高强度用于抵抗瞬间的强大冲击力，方案如下：

方案 1：分三种单体零件：高强度区域本体（22MnB5）、低强度区域（DP590）、补丁板区域（22MnB5），最后将三者焊接成总成零件交付，简称方案 1。

方案 2：本次研发方案：激光拼焊板 + 补丁板共存，简称方案 2。

成本对比明细如下：

表 2			
类别	方案 1	方案 2	差别
工装成本	高强度区域本体（22MnB5）+ 补丁板区域（22MnB5）热成型一套（一出四，一冲一台车）	热成型模具一套（一出四，一冲二台车）	减少冷冲工装 3 套，焊接总成夹具一套共计减少工装成本 30W
	低强度区域（DP590）工序数 3 序，冷冲工装 3 套		
	焊接总成夹具一套		
制造成本	工序为：热冲 + 冷冲 + 零件焊接总成	工序为：料片焊接总成 + 热冲	减少整个跨工艺作业流程 2 序（冷冲 + 零件的焊接总成）作业流程减少后，生产效率可提升约 100%
	热冲压工序一冲出一台车	热冲压工序可一冲出二台车	热冲生产效率提升 100%

从表 2 可以看出，即使应用多种热成型先进工艺的混合应用，车身强度得到定制化生产，成本上不仅没有增加，反而生产效率上在作业流程大幅度减少后，反而有着明显提升。

工艺原理

- ① 22MnB5 区域及 6Mn6 区域；
- ② 22MnB5 区域在约 930℃得到奥氏体组织；
- ③ 6Mn6 区域在约 930℃得到奥氏体组织；
- ④ 780℃之前成型；
- ⑤ 22MnB5 区域快速冷却至约 200℃可获得均匀的马氏体；

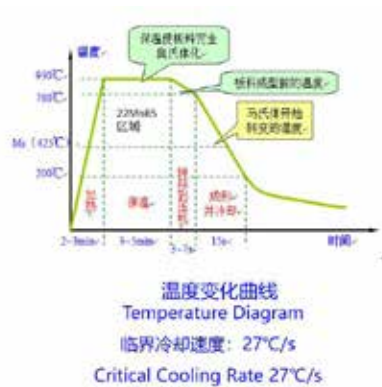


图 2

(6) 6Mn6 区域快速冷却冷却至约 200°C 可获得铁素体和珠光体。

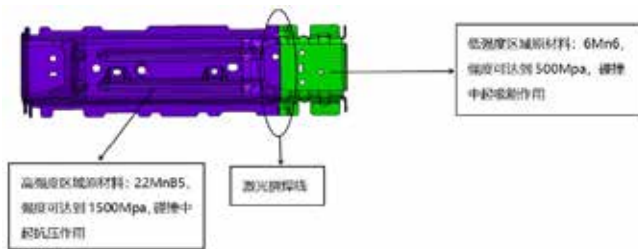


图 3

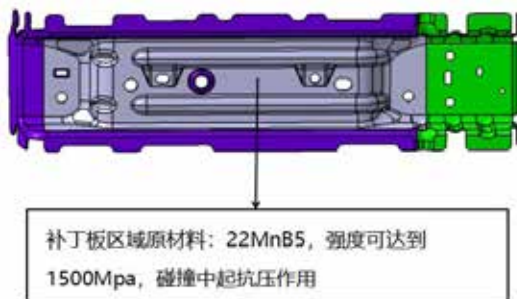


图 4

以图 3、图 4 所示为汽车前座椅后横梁零件，分为三个区域：高强度区域（22MnB5）、低强度区域（6Mn6）、补丁板区域（22MnB5），三个区域在模具中均依靠快速冷却来得到我们最终需要的产品性能。

高强度区域（22MnB5）和补丁板区域（22MnB5）加

热至 930°，经过快速转移 780° 之前成型以及大于 27° /s 的冷却速度可以形成均匀的马氏体，强度达到 1500Mpa 以上；

低强度区域（6Mn6）因其材料自身的特点，化学元素中缺少了硼元素，经过加热和快速冷却后，最终金相组织依然为铁素体和珠光体组织，故其强度达到 600Mpa。

产品工艺分析

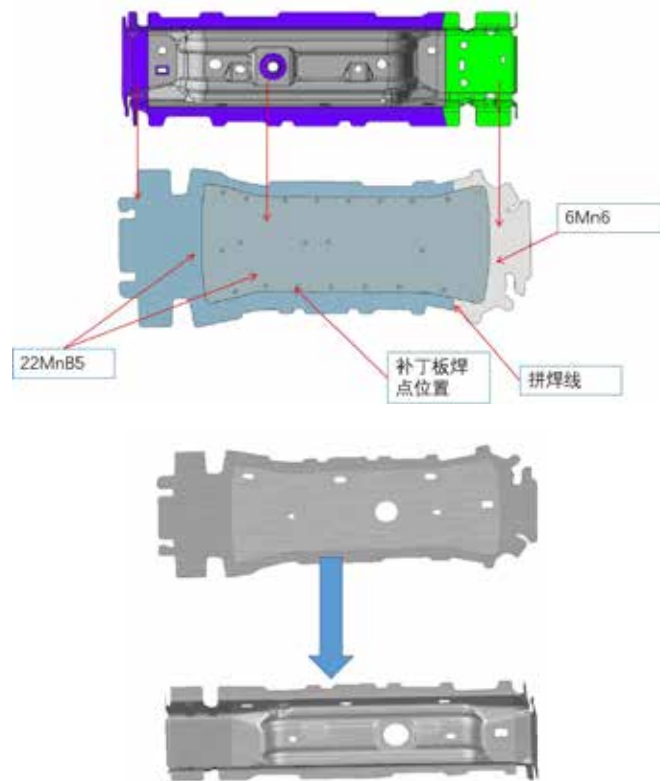


图 5

根据零件数模反算板料线，补丁板边线，拼焊线，焊点位置，然后进行分析，如图 5 所示。

图 6 为工艺分析中模拟成形工艺过程各工具体设置，包含上模镶块设置、下模镶块设置、压料芯设置等，用于模拟整个产品的成形过程。

图 7 为按照图 6 的成型工具体设置模拟该产品的成形工艺过程，分别从 PAD 压住、到底前 60mm、到底前 55mm、到底前 50mm、到底前 20mm、完全到底等几个过

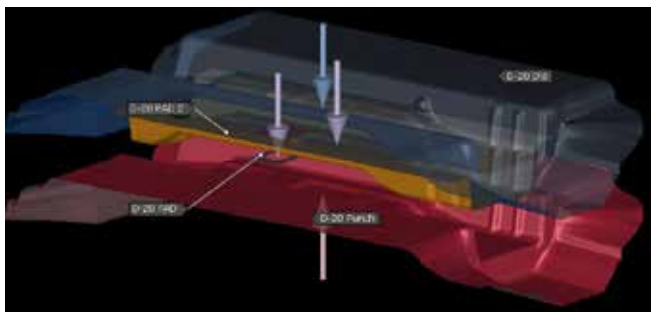


图 6

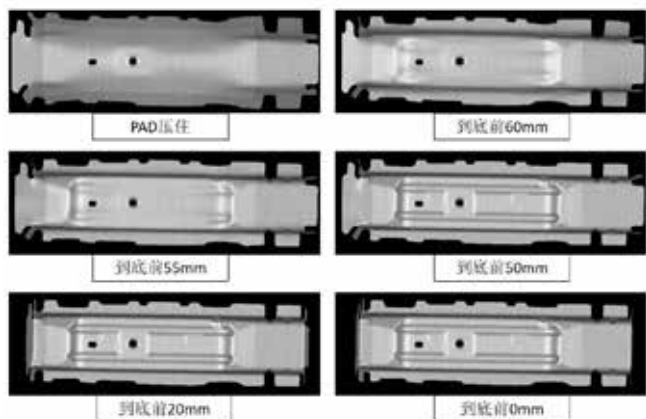


图 7

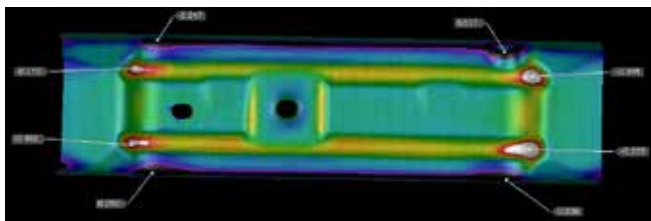


图 8 减薄分布图

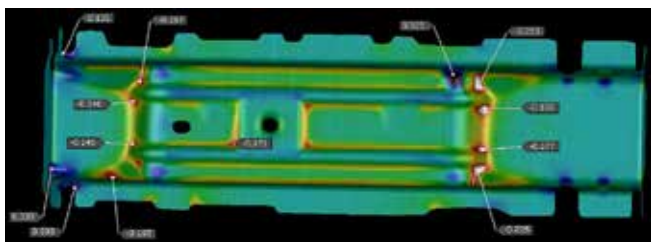


图 9 起皱分布图

程观察零件的成形过程中是否有开裂和起皱的风险。

图 8 和图 9 为模拟成形完毕后，产品的减薄分布图和起

皱分布图，通过标准数值（减薄 $\leq 15\%$ ，起皱 $\leq 6\%$ ）判定该产品是否存在减薄开裂风险和起皱风险，从而和客户商讨产品修改方案，直至产品分析合格。本次研究零件初次分析如图 8 所示存在开裂风险，后期通过和客户商讨修改产品造形得以解决。

工艺过程

工艺过程如下：

落料——拼焊——固定点焊——转移——加热和保温——转移——冲压成形和保压淬火——转移——后续处理

①落料：使用落料压机和落料模具冲裁或者使用激光切割方式生产出所需外形轮廓的热冲压板料。需要分别生产出 22MnB5 板料和辊压不等厚的补丁板板料。

②拼焊：分别将落料完毕的 22MnB5 和 6Mn6 由专用夹具和激光拼焊设备进行拼焊。

③固定点焊：使用补丁板焊点位置布置技术将 22MnB5 板料和 22MnB5&6Mn6 拼焊办理使用固定点焊，焊接在一起。

④转移：使用机械手等设备将毛坯转移至加热炉中。

⑤加热和保温：将板料加热到奥氏体再结晶温度以上，并且保温一段时间，使其充分均匀奥氏体化。奥氏体化参数加热温度和保温时间对板料的奥氏体化质量有重要影响。加热和保温过程中板料表面很容易氧化，影响后续冲压淬火效果并且增加了表面清理工序。对板料进行表面防氧化处理（防氧化涂层）或者向加热炉内冲入保护气体（氮气等）能够显著减少甚至避免钢板产生氧化皮。

⑥转移：使用机械手等设备将奥氏体化后的板料从加热炉中取出转移至热冲压成形水冷模具中。

⑦冲压成形和保压淬火：快速完成冲压成形并保压淬火一段时间，利用模具的冷却系统对高温板料进行淬火热处理，使热冲压零件获得均匀的马氏体组织和良好的机械性能。另外，保压可以减小回弹，提高热冲压零件形状精度。

⑧转移：使用机械手等设备将热冲压成形零件从模具中取出。

⑨后续处理：利用酸洗或喷丸的方法去除零件表面的氧化皮，提高零件表面质量；使用激光切割机、激光钻孔机对超高强度热冲压零件进行切边和钻孔，或者在热冲压成形之前钻

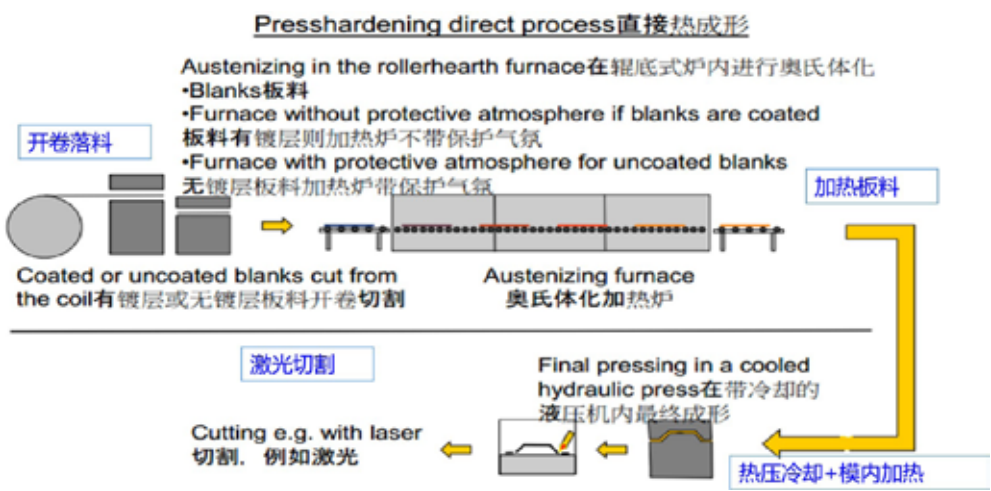


图 10 工艺过程分布图



图 11 工艺流程图

孔。

工艺流程图如图 11 所示。

设计创新点

模具型面及水道设计

如图 12 所示为保证最佳冷却效果，①除在型面以下

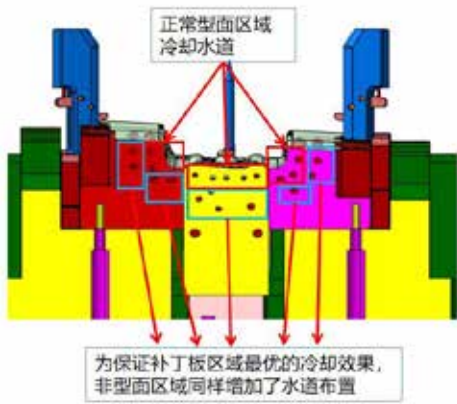
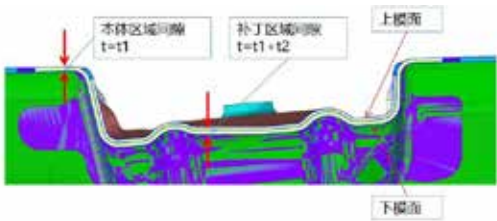


图 12 模具设计图

8mm ~ 10mm 范围内设计冷却水道对模具进行冷却；②在有效空间内对非型面区域同样进行冷却水道的设计，保证最优的冷却效果。

通过热成型模具工艺设计，实现产品预开发功能



图 13 预开发效果图

图 13 可以看出该产品通过模具工艺方案的优化和设计，已实现产品周围全预开发的方案，共计减少切割长度 2243.5mm，单件减少切割时长 38 秒，大幅度提高了激光切割的生产效率，减低的生产制造成本和设备投资成本。

产品验证

产品尺寸合格率统计

目前产品合格率均已达到 90% 以上，预开发坯料线已测试完毕，到达了预期效果。

机械性能实验验证

分别对左右件零件取样 3 辆份，进行了硬度实验，实验结果均满足技术要求。

高强度区域（22MnB5）硬度要求：维氏硬度

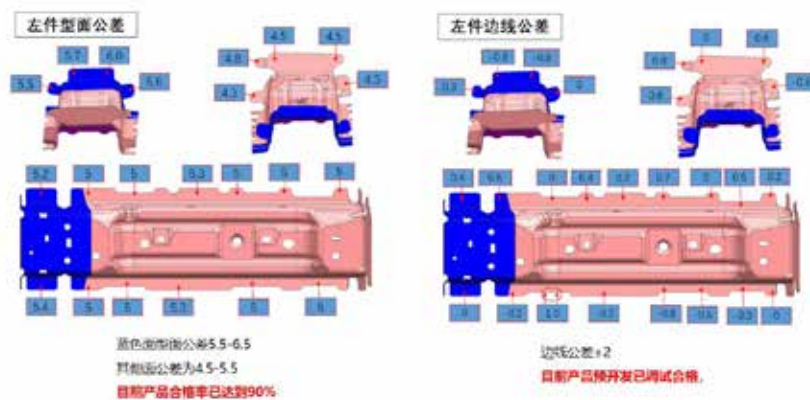


图 14 左件尺寸合格率统计

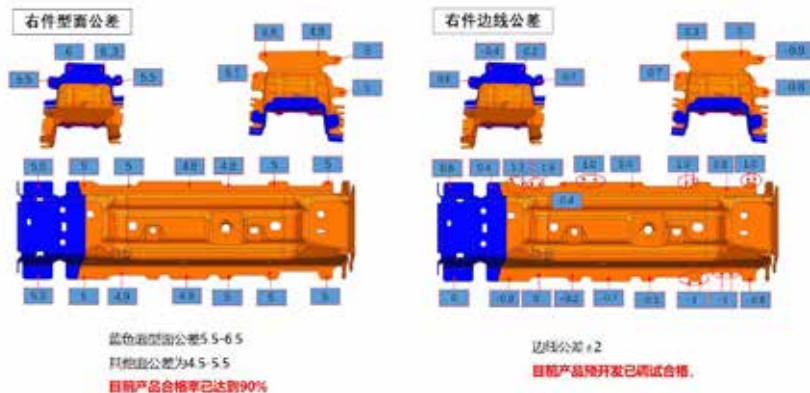


图 15 右件尺寸合格率统计

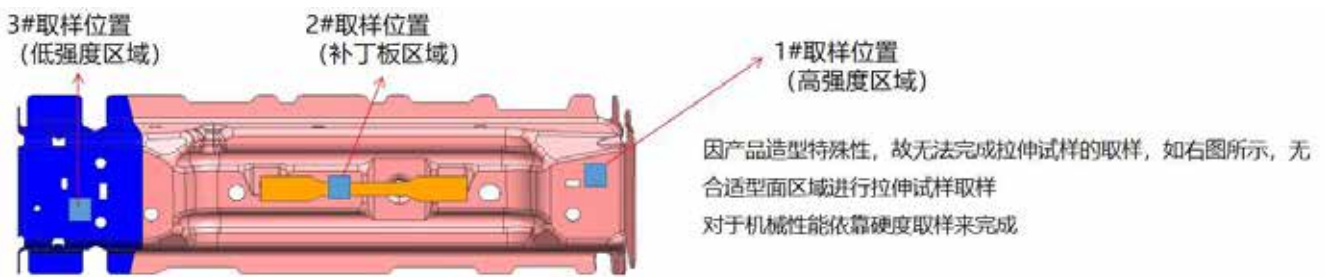


图 16 机械性能取样位置分布图

表 3						
序号	零件名称	日期	实验结果 - 硬度			备注
			硬度 1#	硬度 2#	硬度 3#	
1	座椅横梁	20200609	482.00	464.00	182.00	合格
2	座椅横梁	20200609	471.00	458.20	192.40	合格
3	座椅横梁	20200609	472.00	482.00	186.30	合格
4	座椅横梁	20200609	466.20	4478.50	181.30	合格
5	座椅横梁	20200609	472.40	468.60	196.80	合格
6	座椅横梁	20200609	468.40	481.00	188.40	合格

约降低 6% ~ 8%、排放降低 5% ~ 6%；车桥、变速器等装置的传动效率提高 10%，燃油效率可提高 3%；而燃油消耗每减少 1 升，CO² 排放量减少 2.45kg。本项目技术工艺的应用，可以在保证车辆控制稳定性、碰撞安全性的前提下，实现车身轻量化，可以有效提高单位承运能力和平均燃油效率，降低能耗和环境污染。这对国家能源战略以及汽车工业健康发展都具有重要意义。

目前该项目的最终产品在 22MnB5 区域和、补丁板区域、6Mn6 区域都需满足机械性能指标要求。该项目已成功实现规模化生产，且我司为国内首家集成激光拼焊技术和补丁板技术热成形工艺零件应用的单位，同时也可奠定我司在行业内技术领先的地位。

同时也证明了多种先进热成形工艺集成实现的可行性，使未来车身强度在热成形工艺应用上可以做到定制化强度的生产，在轻量化和高强度的前提下又扩展了更多的实现方案和思路，相信未来会有更多热成形先进工艺集成的应用方案提出并得以实现。NFC

≥ 400HV，低强度区域（6Mn6）硬度要求：维氏硬度 175 ~ 215HV。

结束语

当前，能源短缺及环境污染问题已成为制约中国汽车产业可持续发展的突出问题，低油耗、低排放的汽车都是节约型社会发展的需要。材料显示：汽车自重每减少 10%，油耗