先进高强度钢的应用在满足车身性能要求的情况下，解决了轻量化和绿色环保的要求。后减振器支座作为车身重要结构件，采用先进高强度钢 HC420/780DHD+Z、t=2.3mm 以满足性能要求，但在试模阶段出现了严重的开裂问题，本文利用有限元分析的方法进行了原因分析并制定了有效的整改方案。

□ 长城汽车股份有限公司 刘浩 杨世印 高鹏

780DH 后减振器支座开裂问题解决

双相钢（DP 钢）因具有良好的冲压成形性，成为车身结构件、加强件的首选钢种。但随着材料强度的提升，双相钢在进行复杂制件的成形过程中易产生开裂问题，因此为解决 DP 钢在生产复杂制件易产生的开裂问题，我司联合钢厂开发了一种增强成形性双相钢（DH 钢），DH 钢与 DP 钢相比，较同等强度的双相钢具有更好的成形性。

表 1 为 HC420/780DHD+Z（以下简称 DH）和 HC420/780DPD+Z（以下简称: DP）两种材料的基本力学性能对比，从表中可以看出，HC420/780DHD+Z 的延伸率及硬化指数更高，冲压成形性应该更好，但我司在生产后减振器支座试模阶段，发生了 HC420/780DHD+Z 材料比 HC420/780DPD+Z 开裂严重的情况。

问题

后减振器支座设计材料为先进高强度钢，规格 HC420/780DHD+Z，料厚 2.3 mm，由于此规格对应的 2.3 mm 材料为新材料品种，无现货材料，因此开模后采用同级别的 HC420/780DPD+Z 进行模具调试生产，之后切换成 HC420/780DHD+Z 规格后，制件出现严重的开裂（图 1）。

表 1 基础力学性能

牌号	屈服强度 /MPa	抗拉强度 /MPa	断后延伸率（%）A80 最小值	N90 最小值	烘烤硬化 BH2/MPa 最小值
HC420/780DHD+Z	420~550	780-900	18	≥ 0.13	30
HC420/780DPD+Z	420~550	780	14	0.11	30

表 2 试样料片力学性能

材料	屈服强度 /MPa	抗拉强度 /MPa	均匀延伸率（%）	断后延伸率（%）	N 值
HC420/780DHD+Z	495	860	13.5	18	0.19
HC420/780DPD+Z	514	829	10.5	20	0.12

现场材料试验对比分析

1. 基本力学性能

对两种规格的板料现场取样分析，其中力学试验结果见表 2。由实验结果可知，HC420/780DPD+Z 材料与 HC420/780DHD+Z 材料在基础力学性能上总体相当，其中 DH 材料均匀延伸率与硬化指数优于 DP 材料，DP 材料断后延伸率稍高于 DH。

2. 折弯试验

折弯试验结果如图 2 所示，DH 材料折弯性能

图 1 开裂情况

图 2 折弯试验结果

28-44质量控制.indd 36 2022/2/23 17:52:45

差于 DP，DP 折弯圆角 *R*1.5 未出现边裂、面裂，DH 折弯圆角为 *R*6 时便出现边部开裂，但未出现面裂。

3. 扩孔试验

扩孔试验结果如图 3 所示，DH 材料扩孔率为 13.6%，DP 材料扩孔率为 22.9%，DH 材料明显差于 DP 材料。

原因分析

1. 仿真分析

基于现场取样的材料力学性能进行材料卡片设置，考虑到 DH 材料折弯性能较差，设置 DH 材料极限折弯圆角为 *R*3 mm，而 DP 材料设置为 *R*1 mm。两种材料仿真结果如图 4 所示。

从仿真结果来看，设计工况下，基于 FLC 的开裂风险判据，两种材料成形后均存在开裂风险。开裂严重区域分布在零件顶部及反凹坑凸模圆角处，尤其反凹坑凸模圆角处，且 DP 材料开裂程度高于 DH，已经出现了撕裂情况，这是由于从基本力学性能来看，DH 材料参数整体优于 DP 材料所致。进一步观察零部件同时成形过程可知，DH 材料风险区域的减薄率明显低于 DP 材料，这是由于 DH 材料均匀延伸率及硬化指数较高，降低了材料的进一步减薄所致。根据现场反馈，DH 材料开裂率 100%，DP 材料开裂率较低，与仿真结果有偏差，但如考虑极限折弯圆角情况，仿真结果如图 5 所示。

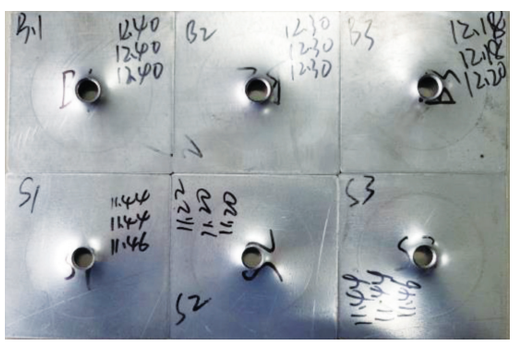


图 3 扩孔试验结果

由仿真结果可知，由于极限折弯圆角不同，造成该零件成形后 DH 材料在各凸模圆角区域有大面积开裂风险，尤其在零件顶部，折弯引起的开裂风险最高，这与现场冲压情况较为一致，结合现场冲压模具局部圆角较小，表面质量稍差，可推测，开裂可能是局部折弯圆角过小，造成应力集中引起材料开裂所致。实际模具局部圆角如图 6 所示。

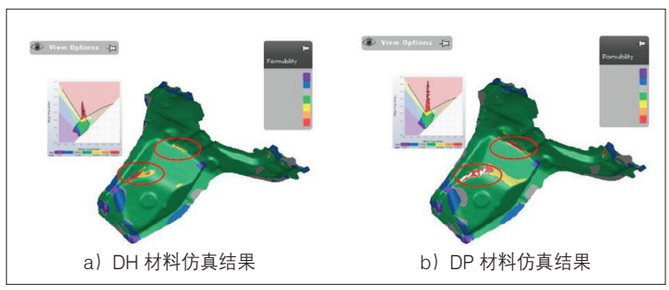
2. 仿真过程分析

分析开裂处变形情况如图 7、图 8 所示，材料变形以及流动方向均垂直于产品圆角方向。

3. 影响因素分析

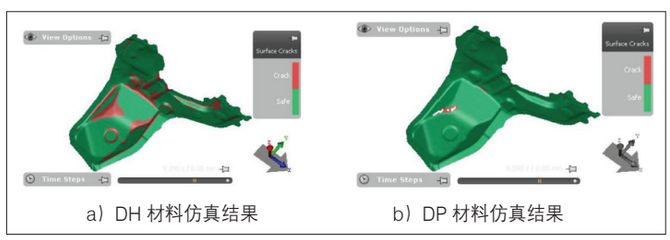
（1）摩擦系数

用 DH 材料，降低摩擦系数后，顶部开裂风险有增加趋势，反凹坑处开裂风险消除，这与覆膜冲压效果一致。



a）DH 材料仿真结果　　b）DP 材料仿真结果

图 4 仿真结果



a）DH 材料仿真结果　　b）DP 材料仿真结果

图 5 考虑极限折弯圆角的损伤情况

图 6 模具局部圆角较小

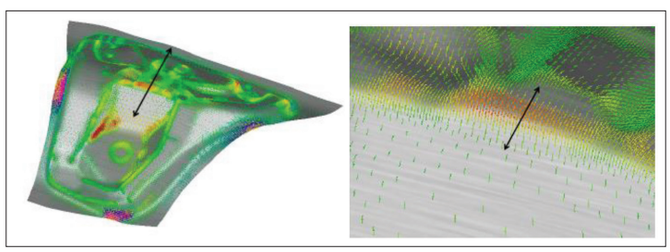


图 7 顶部开裂处

28-44质量控制.indd 37　　2022/2/23 17:52:45

（2）材料性能

用 DH 材料，通过调整仿真分析用材料卡片的参数，提升材料成形性能后，顶部与反凹坑处开裂风险均有减轻趋势。

（3）压边力

用 DH 材料，压边力降低 50% 开裂风险有降低趋势，但依然存在，考虑到现场材料起皱情况，无更多降低空间。

（4）料片尺寸

结合生产现场实际出件状态，制件拉延工序除了开裂情况还有起皱现象，且成形后料片收缩距分模线较近，不再对料片进行调整。

方案制定

1）试验结果显示，DP 材料力学性能处于生产上限水平，DP 材料不具备 SOP 后批量生产能力，而 DH 材料处于生产下限水平，DH 材料性能提升还有很大空间。因此，仍采用 DH 材料，要求钢厂提升材料的延伸率。

2）DH 材料折弯及扩孔性能相比 DP 材料较差，在不影响搭接情况下，放大开裂处产品圆角，提升模具光洁度。

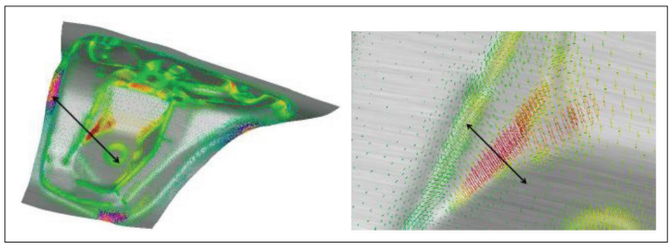


图 8 反凹坑开裂处

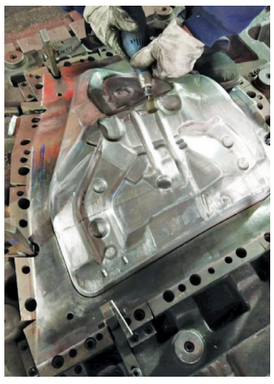


图 9 放大圆角，提升表面粗糙度

图 10 新批次板料制件状态

整改方案实施

在不影响搭接情况下，放大开裂处产品圆角，提升模具表面粗糙度，如图 9 所示。同时采用新批次板料（断后延伸率 19.5）生产，开裂问题消除，图 10 所示。

结论

采用有限元分析软件，对影响开裂问题的要素进行模拟分析后制定了有效的整改方案，快速地使问题得到解决，缩短了模具的整改周期。增强成形性双相钢（DH 钢），较同等强度的双相钢具有更好的冲压成形性，但该材料折弯性能及扩孔性能相对双相钢（DP 钢）差，因此对于复杂的结构类制件，产品圆角不宜太小。AI

（上接第 35 页）

面表面，但不应从表面滴下。

8）如果扭纹角在步骤 6）或步骤 7）中被证实，根据其方向描述为“左旋”或“右旋”。

①当轴杆以顺时针方向旋转时（从回转密封面空气端看去），悬重棉线向右移动或移向密封档的空气一端，则扭纹角被称为右旋，右旋会造成油向空气一端泵出；②当轴杆以顺时针方向旋转时（从回转密封面空气端看去），悬重棉线向左移动或移向油密封档，则扭纹角被称为左旋，左旋会造成空气抽进油封端。

总结

轴类零部件回转密封面上的扭纹角作为磨削加工后产生的一种微观纹理现象，在平常的粗糙度检测结果中无法反映出来。因此按照图纸和工艺要求加工出来的回转密封面虽然圆度及粗糙度是合格的，但是由于存在扭纹角，零部件在运动过程中密封区域的油脂会存在溢出的风险。如何建立一个简单又快捷的检测方法有助于提高生产加工单位在批量制造过程中的质量控制能力，排除产品的质量隐患。AI

28-44质量控制.indd 38 2022/2/23 17:52:46