后桥断裂问题的分析过程及优化方案

□ 宁波优适捷传动件有限公司/席文清
□ 宁波汇众汽车车桥制造有限公司/周传俊

根据某后桥在路试过程中开裂的情况，分析了可能导致后桥开裂的原因，通过CAE分析并结合一系列的试验逐一进行验证。在此基础上，采取结构优化的措施，提高产品设计的安全系数，彻底解决了此问题，为类似产品的分析提供参考。

问题描述

收到某主机厂对其车型在路试过程中后轴总成（论文中后轴暂用A代替）出现开裂的情况出具的检测报告，该报告中指出：开裂起始于加强筋边沿焊缝金属弧顶处，在焊缝金属区域存在大量的空穴、夹杂物夹渣及焊道间未熔合的缺陷特征，在焊缝金属与基体母材熔合处有明显的氧化夹层和熔化孔隙。

试验验证过程

针对该问题，我公司立即同步进行了对后轴产品的焊缝质量的检测、分析和试验，主要试验情况如下：

随机抽取了与开裂件同批次的后轴及其他批次的后轴各2件进行检测分析。

1. 无损检测

（1）对焊缝外观目视检查，未发现有表面气孔、咬边、烧穿等缺陷。

（2）对焊缝进行荧光磁粉探伤，未发现有表面裂纹等缺陷。

（3）对加强板与纵臂、加强板与主梁焊缝进行了X射线探伤，未发现有不可接受内部缺陷。

2. 破坏性检验

（1）焊缝切片检验。

为了验证焊接的可靠性，我们对抽取的样件共取样16处，其中有4处取样部位与开裂件开裂位置相同。切片做好后，按常规使用5倍放大的形式进行检验，检测结果表明：其中一件纵臂与主梁焊缝的切片上发现两处小气孔外，其余切片均未发现缺陷。

针对发现的两处小气孔，经试验人员进行100倍放大后，测得最大线性尺寸为0.34mm。两处小气孔在焊接过程中近受电弧高温的影响，焊接材料与母材及保护气体之间会发生一系列的物理和化学反应，不可避免地会产生一些气孔、非金属夹渣物等残留在焊缝中，只要这些缺陷的大小及数量在允许范围内，仍可认为焊缝质量是合格的。参照焊接总成图样中FIAT标准9.50170（电弧焊和气焊焊缝标准），如表1所示，该气孔大小及数量在可接受范围内，且其余切片检验项目如：熔深、焊透率、焊脚高等指标均符合标准要求，所以我们认为焊缝质量是合格的。

（2）焊接接头拉伸&背弯试验。

取样部位为加强板与纵臂焊合

表1 外观检验可以接受的极限 （单位：mm）

缺陷	一级	二级	三级
	焊道每40mm长		
针孔（直径≤0.7）	5	10	20
表面气孔（直径≤2）	3	5	7
母材和焊接材料上不可以出现裂纹和断裂			

处，因零件进行了后加工（形状和截面有变化），为了更好地验证零件的性能，直接从产品上进行本体取样。

拉伸试验结果：裂纹断裂发生在距焊缝边沿5mm处的母材上，未发生在焊接区域，从而侧面验证了焊缝静拉强度达到要求。

背弯试验结果表明：零件经过试验，在零件上未发现焊缝有开裂迹象。说明零件的焊接过程满足设计要求。

（3）焊接结构静压弯曲试验。

试验采用如图1所示的形式进行，该试验共进行了两组数据采集。从试验结果可以看出：断裂的起始源均为从纵臂与加强板焊合处，随着压力的增加，断裂带沿焊缝纵向方向扩展，直至撕裂。经图1进一步验证：该后桥结构的薄弱环节正是在纵臂与加强板焊合的两侧。

图 1

CAE分析及优化建议

疲劳分析和静强度试验分析评价标准此处省略。A产品有限元模型如图2所示。CAE分析结果如图3所示。

从CAE分析结果可以看出，零件在做侧向力耐久时最大的应力点为459MPa，再加上板厚对异步扭转力耐久和侧向力耐久工况影响很小，排除了板厚因素。为了更好地解决应力集中问题，CAE工程师针对此零件的结构，提出以下两点改善建议：

（1）延长加强板或更改其结构。

（2）延长加强板与纵臂和主梁的焊缝，分散产品的应力集中。

分析结论

结合样件试验和CAE分析结果的结果，分析如下：

（1）A后桥的焊接质量分别进行了无损检测、焊缝切片检验以及焊接性能等试验，从实验结果来看，其各项指标都符合焊接性能的相关规范。

（2）在单向静拉力的作用下，通常断裂都是如试验结果所示，从应力最集中的薄弱点开始沿焊缝纵向扩展。如焊缝不合格，单从静向拉弯力上来说，更应沿焊缝方向开裂，但断裂实物并未如此。

（3）故障件的裂纹件，主要裂纹源有两处：一处为加强板交界处的背面焊接处，一处为与加强板的交界处。从断裂件的断裂截面来看，该两处裂纹均为横向裂纹，撕裂面均在同一横截面上。随着在路试过程中，裂纹源受交变应力的影响，沿着横向方面撕裂而导致的。静压弯曲试验可以看出，该截面为应力集中区。

根据焊缝剖切结果，虽然该截面上的焊接部位存在两个小气孔的焊接缺陷。但参照FIAT标准9.50170

图 2

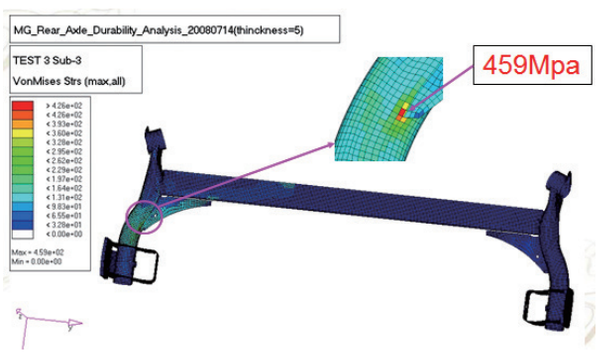


图 3

相关要求，该处焊缝仍可以认定为是合格的。从CAE分析结果可以得出该截面为应力集中区域，它的极限已经超出了设计安全系数，是引起纵梁开裂的主因。所以该截面是整个产品的最薄弱处。在零件使用过程中，该截面是产品失效的起始源。再加上焊接时该部位不可避免的存在焊接缺陷（参照FIAT标准9.50170焊接缺陷是允许存在的，焊缝是合格的），该截面的应力集中超出了设计安全系数是引起纵梁开裂的主因。所以我们只有通过优化零件的形状，加大产品设计的安全系数，消除因应力集中引起的产品失效，来保证零件的质量。

优化措施

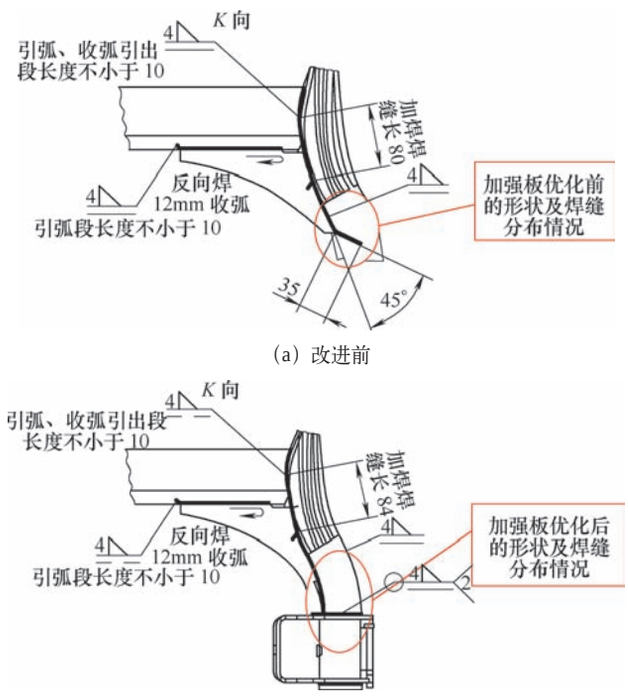
优化加强板形状和改变焊缝的起始点，以改变零件的应力集中，从而满足产品要求。采取如下措施进行整改：

（1）对加强板形状进行优化，将应力集中问题通过优化的方式进行分解，降低该截面的前端刚度，提高产品的安全系数。

改进前后加强板形状及焊缝情况如图4所示。

（2）按改进方案制作样件，安排台架试验，以验证改善后危险截面的应力集中状况。经台架试验验证，通过对加强板形状的改进，可以提高产品的性能，提高零件的安全系数。具体的试验结果和试验设备见下表2。

（3）为了进行步提高产品的焊接质量，在后续的焊接生产过程中，需加强生产过程中各焊接参数的监控。



（a）改进前

（b）改进后

图 4

表2 试验结果和试验设备

编号	试验项目	试验载荷	评价指标	结果
ST2008-125S	侧向力耐久	载荷：±7kN 频率：7.5Hz	最少循环次数：100 000次 平均循环试验次数：180 000次	330 000次无损终止
结论：通过对生产的新状态XXX-H型后轴焊接总成进行侧向力耐久疲劳试验，试验结构均符合试验大纲要求。				
试验设备 FTS E2264 激振器 FTS 多通道协调加载伺服控制系统 控制柜				

作者简介

席文清 宁波汇众车桥制造有限公司工程师