



基于 Patran 有限元法的焊接螺钉强度分析

赵萌¹, 刘洋¹, 龙腾²

(1.上汽大众汽车有限公司长沙分公司 质保实验室, 湖南 长沙 410000;
2.上汽大众汽车有限公司 质保实验室, 上海 200000)

摘要:在参照焊接螺钉焊接强度实验的基础上,提出了一种基于 Patran 有限元法的焊接螺钉强度分析方法。首先建立焊接螺钉的三维模型,并通过属性选择、网格划分建立有限元分析模型,通过对边界条件和载荷的设置完成强度求解,然后将有限元分析结果和实验结果进行了对比。同时也分析了气孔缺陷对焊接螺钉强度的影响,该方法对焊接螺钉的设计以及焊接缺陷风险评估具有重要指导意义。

关键词:Patran;有限元;焊接螺钉;焊接气孔;强度分析

中图分类号: TG44

文献标识码: A

文章编号: 1671-931X (2016) 05-0092-03

焊接强度分析是检验焊接结构设计合理性和制造质量的极其重要的环节。通过焊接强度分析可以确定焊接结构的最大载荷,将其和设计载荷相比较,可以确定焊接结构的合理性和焊接质量的好坏。

焊接螺钉作为整车中重要的连接结构,广泛分布在整车的各个区域,起到将其他零部件固定在车身上的作用。不同区域的焊接螺钉承受着大小和形式不同的载荷作用。因此在大众集团标准 VW60560 中,对于不同规格的焊接螺钉,其焊接强度要求是不同的。

为了确定一个焊接螺钉强度是否满足标准要求,就必须准确地测出其实际强度并进行结构强度分析。本文采用国际通用大型有限元分析软件 Patran 对焊接螺钉进行强度分析,这对焊接螺钉的设计、制造质量以及缺陷评定标准制定等具有重要参考价值。

一、焊接螺钉的焊接强度实验

对于不同规格的焊接螺钉结构,大众集团焊接标准 VW60560 规定了不同的实验强度要求,如表 1

所示。

为了检验一焊接螺钉结构是否符合标准要求,通常我们需要进行焊接强度实验以获得其拉脱力(cross-tensile force)F。焊接螺钉强度实验示意如图 1 所示,利用工装将螺钉焊接的板材固定,然后利用 Zwick 高精度拉力机拉伸螺钉端部,直至将该焊接结构破坏为止。在这个过程中拉力的最大值即为其拉脱力 F。

对 3 颗相同规格(螺纹规格为 CT5,板厚为
表 1 不同规格焊接螺钉结构的载荷要求

螺纹规格	板厚 mm	拉脱力 KN
M4/CT4	0.5	1.2
	≥1.25	2.0
M5/CT5	0.5	1.2
	≥1.25	2.0
M6/CT6	0.5	1.4
	≥1.75	2.5
M8/CT8	0.75	2.3
	≥3	4.0

收稿日期:2016-08-21

作者简介:赵萌(1988-),男,河北石家庄人,上汽大众汽车有限公司长沙分公司质保实验室工程师,湖南大学硕士研究生,研究方向:金属材料学;刘洋(1986-),男,湖南益阳人,上汽大众汽车有限公司长沙分公司质保实验室经理,上海交通大学硕士研究生,研究方向:材料学、质量管理;龙腾(1988-),男,湖南长沙人,上汽大众汽车有限公司长沙分公司质保实验室经理,工程师,上海交通大学硕士研究生,研究方向:金属材料学。

1.75mm) 螺钉进行强度实验, 测试结果分别为 $F=4.4\text{KN}, 4.6\text{KN}, 4.7\text{KN}$, 测试结果曲线如图 2 所示, 破坏部位在螺钉和板材的焊接区域。本次测试焊接螺钉位于前纵梁上, 用于固定线束, 规格为 CT5, 板材厚度为 1.75mm, 根据表 1 可知, 其拉脱力 F 要求不小于 2KN, 故测试的 3 颗焊接螺钉满足标准要求。

二、基于 Patran 有限元法的焊接强度分析

强度分析主要由建模、网格划分、加载及求解、查看结果和后处理几个步骤组成。建立模型包括建立几何模型, 划分有限元网格, 定义单元类型, 定义材料属性等。

(一) 建模

1. 创建几何模型。根据第一部分的拉脱力实验, 利用三维建模软件 Catia 建立几何分析模型。焊接螺钉结构的板材在被固定后, 被压在工装下方的板材其自由度完全被约束, 因此分析时只需将板材未被工装压紧的部分画出。考虑到基本不会影响到焊接区域的受力, 为建模和计算方便, 将螺柱螺纹部分简化为光杆。最终根据结构的实际几何尺寸, 画出几何分析模型的其他部分。

2. 网格划分。网格划分是有限元分析中非常重要的一个环节之一, 网格划分的目的是将几何模型转化为由节点和单元构成的有限元模型。计算结果的准确性和计算速度直接由网格划分的好坏决定, 倘若网格划分不合理可能导致计算发散。

焊接件强度分析计算的目的是得到焊缝处的应力分布和大小, 这种分析计算并不要求非常精确, 因此可以简化模型为整体式, 也就是采用统一的单元属性。对于本次分析, 将上一步 Catia 几何模型导入 Patran 中, 对模型进行网格划分。单元属性为 solid 单元, 单元形状为 Tet10, 选择合适的网格大小。Catia 几何分析模型和 Patran 有限元网格模型构建如图 3 所示。所用材料特性参数为: 弹性模量 $E=210\text{ GPa}$, 泊松比 $\nu=0.28$ 。

3. 设定边界条件。根据螺柱在拉脱力实验中的受力状态, 螺钉头部受到轴向力的作用, 因此对其头部施加均布拉力 P 。另外, 与螺钉焊接在一起的下方板材被工装固定住, 因此应对模型相应区域的自由度进行约束。

4. 模型求解与后处理。选择求解类型为线性静强度分析, 利用求解器 Nastran 进行计算。最后通过 Patran 后处理功能查看应力云图和变形结果等。

(二) 有限元分析结果

利用 Wilson 高精度硬度机测试焊接螺钉的硬度平均值为 210 HV10, 根据硬度与强度转化标准 DIN EN ISO 18265, 其材料抗拉强度为 675N/mm^2 。

在有限元模型中, 拉脱力 F 与在螺钉头部施加的均布拉力 P 存在如下关系。

$$F=\pi r^2 P (r \text{ 为螺柱半径, 为 } 2.3\text{mm})$$

从计算结果的应力云图 4 可知, 当拉脱力 F 为

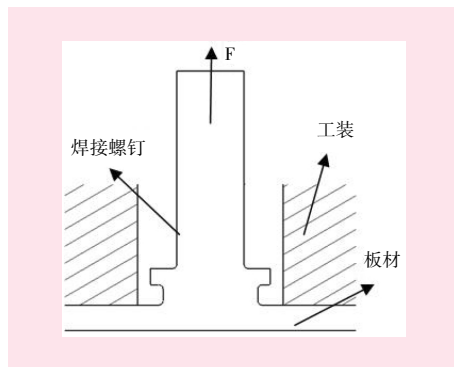


图 1 焊接螺钉强度实验示意图

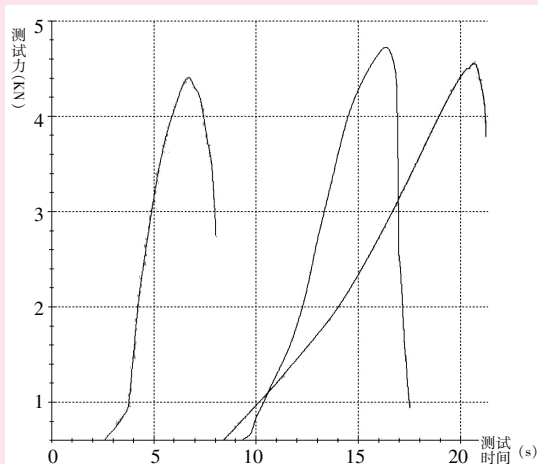


图 2 拉脱力测试曲线

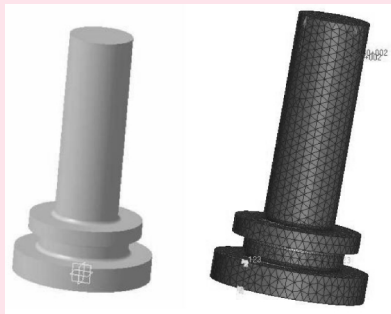


图 3 Catia 几何分析模型和 Patran 有限元模型

4.0KN 时, 此时对应的均布拉力 P 为 242MPa , 在螺钉与板材的焊接位置应力达到 675N/mm^2 , 达到了材料强度极限, 故在此焊接结构位置容易产生破坏。

(三) 有限元分析结果和实验结果对比

对比有限元分析结果和实验结果发现, 两者的应力集中位置, 即开始破坏位置基本一致, 均位于螺钉和板材焊接的区域。另外拉脱力大小两者之间有 12.5% 的误差, 是因为在有限元分析模型建立的过程中, 对实际模型进行了简化处理, 造成了该误差。在很多定性分析和精度要求足够的情况下, 该误差是容许的。因此以上部分验证了基于 Patran 有限元法

进行焊接螺钉强度分析的科学性。

三、焊接气孔缺陷对强度的影响

焊接气孔是螺柱焊中经常出现的焊接缺陷,因此对存在气孔的螺柱焊结构进行强度分析对于风险评估和质量评判具有重要意义。

假设在螺钉与板材的焊接区域靠近边缘部位有



图4 计算结果的应力云图



图5 有气孔缺陷时的应力云图

一椭圆形气孔,对该结构利用 Patran 有限元方法进行强度分析,得到应力分布结果如图 5 所示。当拉脱力 F 为 1.3kN 时,此时对应在螺钉头部施加 79MPa 均布拉力,在气孔位置应力达到 676N/mm^2 。超出了材料强度极限,故在此位置焊接结构易产生破坏。拉脱力 F 为 1.3kN,未达到大众标准 VW60560 要求的最小值 2kN,故该气孔缺陷导致焊接螺钉结构的强度不能达到标准要求。

四、结论

本文首先根据大众汽车集团螺柱焊强度实验标准 VW60560 进行了实验,得到了三颗 CT5 规格的焊接螺钉的拉脱力值。然后基于 Patran 有限元法,针对焊接强度实验建立了焊接强度分析模型,通过计算得到了应力分布结果。将有限元分析结果和实验结果进行对比,验证了利用 Patran 有限元法分析此类问题的科学性。最后分析了气孔缺陷对焊接螺钉强度的影响,对焊接螺钉的设计以及焊接缺陷风险评估具有重要指导意义。

参考文献:

- [1] 罗海萍,潘佐云,唐青春.基于 ANSYS 的翻卷机液压缸的有限元分析[J].广西工学院学报,2001,9(9):45-49.
- [2] 杨宏亮,彭岩.液压缸承受径向载荷的非线性有限元分析[J].机械设计与制造,2008,3(6):23-26.
- [3] 郭江建,罗阳,刘胜青,等.基于实例的焊接强度有限元分析方法的研究[J].中国测试技术,2006,32(3):36-38.
- [4] 刘兵山,黄聪.Patran 从入门到精通[M].北京:中国水利水电出版社,2003.
- [5] 马爱军,周传月,王旭.PATRAN 和 NASTRAN 有限元分析专业教程[M].北京:清华大学出版社,2005.
- [6] 彭友禄.焊接工艺[M].北京:人民交通出版社,2002.
- [7] 田锡唐.焊接结构[M].北京:机械工业出版社,1997.

[责任编辑:詹华西]

Strength Analysis for Welding Screw on Patran Finite Element Method

ZHAOMeng¹ LIU Yang¹ LONG Teng²

(1. Quality Assurance Laboratory, Changsha branch, SAIC VOLKSWAGEN Automobile Co., Ltd, Changsha 410000, China; 2. Quality Assurance Laboratory, SAIC VOLKSWAGEN Automobile Co., Ltd, Shanghai 200000, China)

Abstract: This paper present a method of strength analysis of welding screws based on Patran finite element method. The three-dimensional model of welding screw is established firstly. And the finite element analysis model is established by attribute selection and mesh generation. By setting the boundary condition and the load, the strength of the solution is solved. Then the finite element analysis results and the experimental results are compared. Finally, the effect of pore defects on the strength of welding screws was analyzed. Finally, the effect of pore defects on the strength of welding screws was analyzed. This paper has important guiding significance for the design of welding screws and the risk assessment of welding defects.

Key words: Patran; finite element; welding screw; welding pores; strength analysis