汽车螺纹紧固件防腐性能分析与提升

闫柱[1]，王庆国[1]，王凯[1]，余超[2]

1.陕西汽车控股集团有限公司　陕西西安　710042

2.陕西重型汽车有限公司　陕西西安　710042

摘要：针对汽车螺纹紧固件锈蚀问题，主要研究与分析导致螺纹紧固件锈蚀的主要原因，并针对原因有针对性地提出了改进措施与方法。

关键词：螺纹紧固件；锈蚀；提升

在汽车制造业中，整车装配约90%的连接形式采用螺纹联接，螺纹联接在这里充当了重要的角色。螺纹联接具有可拆卸性、联接便捷性、使用成本低等优点，被广泛应用于整车装配。螺纹联接应用如此广泛，其联接的装配质量直接关系到产品的安全性与和可靠性。近年来市场投诉问题统计中，作为整车使用零件最多、分布最广的螺纹紧固件锈蚀问题也是经常被投诉的问题之一，其耐腐蚀性愈受各大主机厂的重视。

商用车因其产品结构、生产、存储及转运均不同于乘用车，使用环境、工况均比乘用车更加恶劣。本文主要从商用车螺纹紧固件的锈蚀机理进行分析与研究，并制定对应的整改措施。

汽车螺纹紧固件锈蚀问题

汽车螺纹紧固件锈蚀主要为车辆底盘部分锈蚀，如车架安装螺栓和螺母头部锈蚀、焊接螺柱螺纹部分锈蚀（见图1），对新下线车辆抽查过程中经常发现部分紧固件边缘破坏锈蚀（见图2），锈蚀的部位起始点



图1　售后市场锈蚀

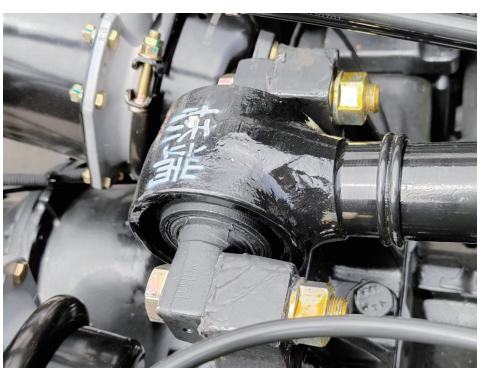


图2　生产过程螺栓锈蚀

大部分发生在紧固件装配六角面对边和六角头边缘部位，内十字槽螺钉锈蚀也发生在十字槽边缘部位。

汽车螺纹紧固件锈蚀机理分析与研究

1.螺纹紧固件表面处理选用

商用车紧固件常用的表面处理方式有镀锌彩虹色钝化、达克罗处理等多种形式，综合使用部位盐雾要求、成本控制、装配便利性等因素，合理选取表面保护形式。根据企业标准要求，要求8级以上的底盘紧固件表面处理方式优先选用镀锌彩虹钝化处理，电镀锌处理镀锌层硬度为25～60HV，耐盐雾试验为200h，但是当紧固件电镀锌层受损后，车辆存储期间易产生锈蚀。

同时发现底盘件焊接螺柱普遍锈蚀问题。通过研究分析，发现引起焊接螺柱锈蚀主要因为焊接螺柱为装配件，为避免螺纹部分因喷漆导致装配困难问题，涂装过程对其螺纹部分进行防护，焊接螺柱无防锈处理或仅涂油处理，耐腐性不满足要求从而产生锈蚀。保险杠支架安装螺栓锈蚀问题如图3所示，锈蚀原因为设计技术要求对螺纹部分防腐技术要求不明确，在电泳过程中采用防护帽对螺柱进行防护，导致螺柱无表面防护而产生批量性锈蚀。后期将此处的焊接螺柱表面处理优化为镀锌彩虹钝化，解决了此处焊接螺柱批量性锈蚀问题。



图3　优化后的保险杠焊接螺柱

2.汽车螺纹紧固件系列化、平台化选用

产品设计过程中，不同的设计者未完全按照系列化、平台化原则进行选用，相同/类似部位的焊接螺柱规格不一致，在车辆装配过程中，使用相同的螺母进行装配，导致螺柱螺纹部分表面防护层破损导致锈蚀。例如：某支架安装螺柱，设计者选用的螺纹规格既有M10×1.5mm，又有M10×1.25mm，但是与之相配合的螺母螺距为M10×1.25mm，工人在装配过程中因螺距不匹配损坏螺纹镀层导致后期锈蚀，如图4所示。



图4　某安装支架螺栓锈蚀

3.汽车螺纹紧固件装配空间设计

产品设计过程中主要存在未充分考虑安装空间及人机工程，导致车辆装配过程操作困难导致的锈蚀问题[1]，主要有以下3个方面典型因素：

1）安装空间设计不合理，在产品设计阶段未充分考虑装配工序及工具对装配空间的需求，紧固件周边空间过小，工具头部或者套筒与周边零件干涉。根据企业标准，工具可以倾斜2～3°进行装配，但是不垂直拧紧则会引起装配时零件表面损伤。

2）设计阶段未充分考虑人机操作便利性，设计的紧固点位置在密闭空间或操作人员装配过程无法看见，需要进行盲装操作。此类情况在装配过程中工具与紧固件定位困难，也易在装配过程中损伤紧固件装配面。

3）积水的影响，在处理锈蚀问题过程中发现部分紧固件从下向上穿，在洗车或者下雨过程中，在螺母和螺栓螺纹结合部位会有少量积水，结合部位长期在积水腐蚀的作用下，紧固件以螺母与螺柱结合部位为起点开始锈蚀。

4.汽车螺纹紧固件装配过程管控

目前商用车领域紧固件常用的装配工艺一般性能要求采用力矩装配，关键部位采用力矩+转角装配，如车辆轮胎螺母装配。使用的装配工具有：扭力扳手、气动扳手、电动扳手及多轴拧紧机。根据现有工艺条件及经济性原则，在商用车领域各大主机厂，一般拧紧部位基本采用风动工具预紧+扭力扳手紧固的拧紧策略。由于气动工具装配速度高，瞬间的冲击力大，装配速度高时装配工具会损坏装配零件的原表面涂层。

套筒长期使用过程中内壁磨损导致套筒与紧固件安装面存在的一定的间隙，在拧紧初期，在瞬间的高速冲击下，紧固件自转与套筒内壁摩擦导致紧固件表面涂层损坏导致后期锈蚀。

5.螺纹紧固件表面处理质量

紧固件表面处理质量也是影响防腐的一个重要因素，对表面处理质量也进行了检测，主要从表面粗糙度、镀层厚度及盐雾试验三方面评价。

在紧固件加工过程中主要影响紧固件装配过程受损的工序为零件冷镦和表面处理。零件如果产生毛刺，在装配及转运过程中毛刺部位与装配工具接触直接使表面涂层失效，或者紧固件堆积导致毛刺脱落，零件漏底导致防腐性能降低。

零件表面处理过程的稳定可以确保零件表面涂镀层厚度一致，镀层结合力可靠，从而降低装配工具对涂镀层的损坏。但是根据试验结果，镀层厚度及盐雾试验结果反馈，镀层厚度及部分紧固件盐雾试验结构不合格，引起锈蚀。例如底盘使用的3级防腐要求的螺栓镀层厚度为15～25μm，根据实际测量结果仅部分螺栓镀层厚度满足要求。同时对易锈蚀件进行100h的5%浓度中性盐雾试验，根据试验结果反馈存在密集型锈蚀，盐雾试验不合格。

防腐性能提升措施

根据上述原因分析，引起螺纹紧固件锈蚀是一个系统性问题，主要有设计空间结构不合理、表面处理选用、装配过程中工具磨损及螺纹紧固件自身表面处理质量四个方面。针对原因，制定针对性的措施提升汽车螺纹紧固件耐腐蚀性。

1）针对设计原因导致的锈蚀，按照系列化、平台化原则在汽车设计阶段建立紧固件选用标准及紧固件正向开发流程，减少紧固件种类和数量。按照DFA方法在工艺同步工程对工具的操作空间及人机操作进行虚拟仿真，减少因设计选用及结构引起的锈蚀问题。

2）车辆装配过程中定期开展工具磨损情况的检查与更换。对拧紧部位分类分级，对关键重要部位采用液压脉冲工具或电动工具进行拧紧。

3）紧固件表面质量管控，主机厂一般是紧固件专业厂家直接采购紧固件，使用量大，不可能100%进行入厂检验。因此紧固件表面处理、镀层厚度及耐盐雾等参数检验一般按照一定比例进行抽检。如果要进一步控制入厂检测，主机厂可采取提高抽检频次的办法对紧固件的质量进行控制。

4）针对装配过程中螺纹紧固件不可避免的表面处理破损问题，在车辆入库前增加底盘整喷工序，对车辆底盘喷水性蜡，对损坏部位进行防护。水性蜡固化后，形成无色透明的硬质膜，外观优于溶剂型防锈蜡。相对于电泳单涂层工艺，水性蜡与电泳漆复合涂层的耐老化性能、防锈性能得到了显著提升。同时，水性蜡具备常温快速干燥和固化的施工性能，适合流水线生产，也可解决传统溶剂型产品的安全、环保问题[2]。

结语

螺纹紧固件批量应用在车辆连接，提高其耐腐蚀性不仅直接关乎车辆外观造质量，更是对紧固件的紧固效果甚至车辆的可靠性有着重要的影响。本文主要针对汽车螺纹紧固件在表面处理选用、设计空间结构合理性、装配过程及紧固件自身表面处理质量问题四个方面进行了原因分析，阐述了导致紧固件锈蚀的主要因素针对原因制定对应的措施，以达到提高车辆外观质量及可靠性的目的。

参考文献：

[1] 王军民，刘烁埼，曹文祥.结构设计致螺栓锈蚀故障分析[J].技术与市场，2021，28（10）：103-104.

[2] 马振宁，张国政.新型水基型蜡在商用车底盘上的应用研究[J].汽车材料与涂装，2020（6）：135-137.