

浅谈APQP和DFMEA在冷轧汽车板研制开发中的应用

Introduction to APQP and DFMEA Application in Research and Development of Automobile Cold-rolled Plate

供稿|李霞, 佟铁印, 兰英 / LI Xia, TONG Tie-yin, LAN Ying

内 容 导 读

APQP称为产品质量先期策划,是一种架构化的方法,用来确保在规定时间内完成项目并保证其所包含的步骤完全达到顾客满意。DFMEA称为产品设计潜在失效模式及后果分析,是一种在产品缺陷产生之前的预警分析。文章概述了汽车行业质量体系标准ISO/TS16949的工具手册APQP、DFMEA等,同时阐明产品的设计开发决定了产品最终的质量、功能、用途及市场竞争力。在本钢的冷轧汽车板产品的设计开发中,APQP和DFMEA两大工具发挥了极其重要的作用。本文以冷轧双相钢DP590为例,重点说明APQP和DFMEA在产品的设计开发中的应用。结果表明,APQP和DFMEA两大工具的运用规范、简化了冷轧双相钢DP590设计开发流程,形成了不断更新的产品设计失效模式及后果分析数据库,有效确保了设计开发出满足顾客要求的高质量汽车板产品。

ISO/TS16949是美国福特等三大汽车公司在总结各国先进的质量管理体系基础上,于2002年首次推出的一套国际普遍认可的汽车行业质量体系标准。近年来,国内外各大汽车制造商均已要求其供应商通过该体系认证,以确保其产品具有高质、稳定、持续改进的运行环境。供应商也将能够通过该体系认证视为进入高端汽车板市场的敲门砖。本钢等少数企业近几年已经通过德国莱茵公司的体系审核,获得了国际市场通行证,经过几年的生产实践,本钢汽车板产品设计开发包括产品策划、设

计、评审、验证和确认等几个阶段已经形成了规范、系统的ISO/TS16949质量管理体系,取得了良好的生产效益。

产品的设计开发是一个产品诞生的关键一环,是产品灵魂所在,它与产品最终的质量、功能、用途及市场竞争力息息相关,而APQP和DFMEA两大手册又是产品设计开发中最常用、最重要的应用工具,因此,本文以冷轧双相钢DP590为例,重点阐述APQP和DFMEA两大工具是如何在本钢产品设计开发中发挥作用的。

APQP的应用

APQP产品质量先期策划是一种架构化的方法，用来确保在规定时间内完成项目并保证其所包含的步骤完全达到顾客满意。在新产品开发过程中，APQP是“纲”，其他工具应用于APQP整个流程中的各个阶段。以冷轧双相钢DP590研制开发为例。APQP作为一个开发计划时间表，将研制开发按照时间顺序分

为三个阶段，每个阶段清晰地列出工作目标、责任部门、负责人员、完成时间范围和所需建立的资料。这种以表格的方式将错综复杂的设计开发工作清晰化、条理化，部门、人员分工明确，时间、目标一目了然。在各阶段完成后经用户确认，产生完整的生产报告，形成闭环控制并持续改进。表1即本钢DP590的APQP开发计划表，它将项目分为：策划立项、产品设计开发、过程设计开发等三个阶段。

表1 冷轧双相钢DP590的APQP开发计划表

| 序号 | 阶段 | 负责部门 | 开始时间 | 结束时间 | 所形成的资料 |
|----|--------|---------------|------------|------------|--------------------------------|
| 1 | 项目确定 | 高管层、多功能小组、销售部 | 2016-01-01 | 2016-01-10 | DP590市场需求、可行性分析报告、产品设计开发任务书等 |
| 2 | 产品设计开发 | 多功能小组、产品研究院 | 2016-01-10 | 2016-06-30 | DFMEA、产品技术规范、产品验证、用户确认、PPAP等 |
| 3 | 过程设计开发 | 各工序生产厂 | 2016-03-01 | 2016-06-10 | PFMEA、MSA、SPC生产过程控制卡、生产总结分析报告等 |

在APQP中，成品的验证是检验研制开发是否成功的重要环节。冷轧双相钢DP590经过产品、过程设计开发和炼钢、热轧、冷轧工序的组织生产后进行验证，它主要包括产品的金相组织检验和力学性能检验。图1为本钢生产的冷轧双相钢DP590的金相图片。由金相图可知DP590组织组成为铁素体和亮白色的马氏体组织，其中马氏体组织含量约10%~16%，组织比例理想。表2是冷轧双相钢DP590的性能检验结果，结果显示完全达到标准要求。

双相钢DP590主要应用于汽车内板和加强件，例如，图2为DP590冷轧双相钢应用于某车型中柱内板的照片。产品经用户确认，完全能够满足需求，使用效果良好。这足以证明本钢研制开发的冷轧双相钢DP590样件生产取得初步成功，APQP应用初具成效。

DFMEA的应用

DFMEA(Design Potential Failure Model and Effect Analysis)称为产品设计潜在失效模式及后果分析，它是在产品设计缺陷产生之前的一种预警分析。在设计开发冷轧双相钢DP590的过程中，重点针对产品工艺参数、成分等各个关键点做详细分析，找出其可能隐藏的设计缺陷，分析这种缺陷可能带来的后果，并预测其风险等级(RPN值)，从而提前采取应对措施，降低缺陷所造成的后果，减少这种缺陷发生的概率。总体来说，DFMEA的实施可在产品设计完成或者批量生产之前发现产品的设计缺陷，降低这种缺陷发生带来的不良后果。

RPN值(Risk Priority Number)称为风险系数，是评判DFMEA风险等级的重要参数。规定 $RPN = S \times O \times D$ ，其中S表示严重度，O表示频度，D表示探测度。RPN值越高，其设计缺陷造成的风险等级越高，当RPN值大于某一固定值，则必须采取改善措施或有效对策。

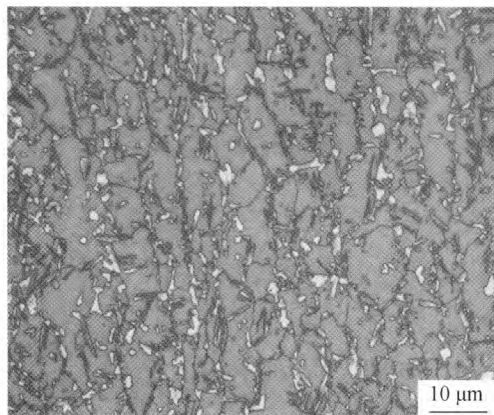


图1 冷轧DP590显微组织

在APQP中，成品的确认是检验研制开发是否成功的另一个重要环节。产品在生产厂检验合格后包装出厂，但产品是否合格还要经过用户的认可。冷轧

表2 冷轧双相钢DP590力学性能

| 项目 | $R_{p0.2}/\text{MPa}$ | R_m/MPa | $A_{50}/\%$ | n_{90} |
|----|-----------------------|------------------|-------------|----------|
| 标准 | 340~500 | ≥ 590 | ≥ 18 | — |
| 均值 | 385 | 641 | 29 | 0.17 |

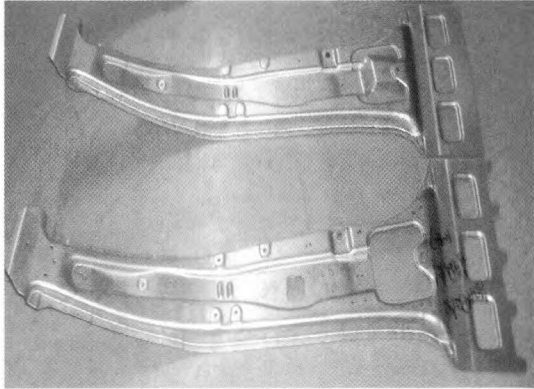


图2 DP590应用于某车型中柱内板

质量特性重要度分级表

质量特性重要度分级表是DFMEA应用时的基础参数，它通过缺陷后果的严重度及发生频度的综合指标，提示设计人员的关注重点。在研制开发DP590产品时，首先根据设计经验、生产及用户使用情况，编制质量特性重要度分级表，见表3，在表中将产品设计时的质量特性按其影响程度划分为

四级：CC关键特性、SC重要特性、HIC高影响特性、MIC一般影响特性。从表3可以看出，当汽车板产品涉及安全性和政府法规而严重度达到9~10级时，无论发生频度值为多少，其重要度级别都达到预警的CC级，必须立刻加以整改。在对DFMEA进行分析时，当质量特性重要度达到CC、SC级别时，应当充分引起设计开发人员的重视，需要采取有效措施加以修订。

DFMEA检查表

表4是本钢冷轧双相钢DP590的DFMEA检查表，当RPN值 ≥ 80 时，应采取纠正预防措施。措施改过后，重新计算RPN值，直到达到要求。实际产品研发中，每发现一种潜在的失效模式，就分析其可能产生的后果，预先采取措施，这样经过多年的生产积累，就会形成一个针对本单位特定岗位、设备的庞大数据库，这样即使设计人员、生产设备发生变动，完整的数据库系统也会保证产品研发、生产稳定开展，并确保质量不断改进、持续提升。

表3 质量特性重要度分级表

| 严重度S | 频度O | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|------|-----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|--------------------------------------|
| 9~10 | | | | | | | | | | | CC(critical character关键特性) |
| 8 | | | | | | | | | | | SC(significent character重要特性) |
| 7 | HIC | | | | | | | | | | SC(significent character重要特性) |
| 5~6 | | | | | | | | | | | HIC (high impact character高影响特性) |
| 1~4 | | | | | | | | | | | MIC(moderate impact character一般影响特性) |

表4 DP590潜在失效模式及后果分析(DFMEA)检查表

| 项目名称 | 汽车板产品设计开发内容分析 | |
|-----------|--|-----------------------------|
| 项目/功能 | 力学性能及工艺性能：使产品满足用户冲压等使用要求 | |
| 潜在失效模式 | 屈服强度 σ_s 、抗拉强度 σ_b 偏低 | |
| 潜在失效后果 | 冲压零件因褶皱等缺陷废品量增多，未达到顾客冲压等使用性能要求 | |
| 潜在失效起因机理 | 研发人员经验不足、研发能力偏低C、Mn、Ni、Ti等强化元素含量偏低，冷轧、冷轧工艺制度设计不当 | |
| 现行设计控制 | 预防 | 建立合理的研发人员能力要求手册，进行产品先期小炉试验等 |
| | 探测 | 小炉试验后有资质的检验设备进行性能结果检验 |
| RPN=S×O×D | RPN=7(严重度S)×4(频度O)×2(探测度D)=56 | |
| 建议措施 | 实施严格的研发人员能力评价、培训机制，提高试验设备生产、检验能力 | |

结束语

ISO/TS16949质量管理体系工具APQP是产品研制开发的纲领，它始终贯穿于产品设计开发之中。首先，根据顾客要求，策划立项后设计开发部门采用APQP开发计划，以文件记录的方式将整个项目分阶段列出流程表。其次，在产品设计开发阶段与生产设计开发阶段，分别形成DFMEA产品设计潜在失效模式并进行后果分析，形成不断完善的FMEA数据库。最后进行产品验证和和用户确认，形成总结报告。同时在整个生产过程中，要随时与用户交流沟通并进行不断的改进和更新，以达到持续提升与保证质量的目的。

1) APQP在研制开发中的应用，不仅明确了客户要求，规范了设计开发流程，简化了设计开发文

件，而且产品验证和用户确认等关键节点也保证了产品质量能够满足客户的要求。

2) DFMEA在研制开发中的应用形成了长期积累的、完整的失效模式数据库系统，保证了本钢等大型钢铁企业即使在人员、设备发生变动时也能确保产品性能、稳定供货、持续提升质量。

企业要想长期稳定发展，必须围绕质量这个核心开展生产，ISO/TS16949质量管理体系APQP和DFMEA两种工具的运用，确保了本钢集团公司在设计开发阶段具有高质、稳定、持续改进的运行环境，确保了本钢能够生产出满足顾客要求且质量稳定的冷轧汽车板产品。

作者简介：李霞(1973—)，女，硕士，高级工程师，工作于本钢产品研究院，从事汽车板研究，E-mail: bxlxia0414@sina.com。



摄影 王 阳