

非接触式无损测量粘胶剂涂层厚度新技术

翻译：翁开尔公司

测量汽车零部件的粘胶剂涂层厚度必须精确到微米级来避免产品出现质量问题、返和客户投诉。在使用瑞士非接触式无损湿膜测厚系统涂魔师之前，美国知名汽车零部件制造商 AAM 公司一直使用显微镜和磁感应测厚仪的传统涂层厚度测量方法，但发现它们存在不少缺点。在橡胶-金属粘胶剂 Chemosil 和 Chemlok 的生产厂家 Lord 支持下，AAM 成功引入非接触式无损测厚系统涂魔师，并替换了传统测厚方法。

尤其对于汽车重载组件，如在传动系统中的组件，精准测量胶粘剂涂层厚度在汽车工业中显得特别重要。若零部件的胶粘剂涂层厚度不在合格范围内，会导致产品磨损速度加快，出现故障，最终换来昂贵的维修和返工费用。

扭转减振器属于主要的重载组件。位于曲轴上的旋转元件用于保护变速箱免受从活塞到曲轴的动力传动过程中产生的峰值负载影响。扭转减振器由外部飞轮和安装在曲轴上的内部轮毂组成。

通过硫化工艺能有效防止曲轴振动——使用仅有几微米厚的粘胶剂将橡胶层粘附在轮毂和外部飞轮环之间。组装扭转减振器之前，先将粘胶剂涂覆在飞轮环和轮毂的内部，在这过程中必须实时高效监测胶粘剂的涂层厚度：如果粘胶剂涂层过厚，涂层会出现破裂情况；如果涂层过薄，则粘合强度不够，导致橡胶层脱落，产生不必要的噪音和对汽车变速器的损坏情况。

通过非接触式无损测量涂层厚度优化生产工艺

可见，在生产过程中监测涂层厚度是必不可少的。总部位于美国密歇根州底特律的汽车零部件生产商 AAM 在法国里昂的工厂，在扭振减振器的生产工艺中，最近成功引进了瑞士非接触式无损涂层测量系统涂魔师，其能高效非接触无损精准测量粘胶剂的涂层厚度。为了使该系统最好地使用在粘胶剂应用，AAM 公司与粘胶剂制造商洛德（Lord）和瑞士 coatmaster 公司密切合作，共同对涂魔师新型测厚技术进行了专门性微调以便适应其生产线。其中，测量粘胶剂涂层厚度的最大难点是需要要在轮毂和飞轮的粗糙表面上进行涂层测量，目的是保证涂层附着力合格。但工件的粗糙表面存在了一个微米级的凹凸不平的表面（图1），当使用电磁感应测厚仪时，探头的磁场会随着接触测试点的不同而发生变化，这种不规则的表面（图2）会导致测量值存在较大偏差，导致涂层测量数据非常不稳定。

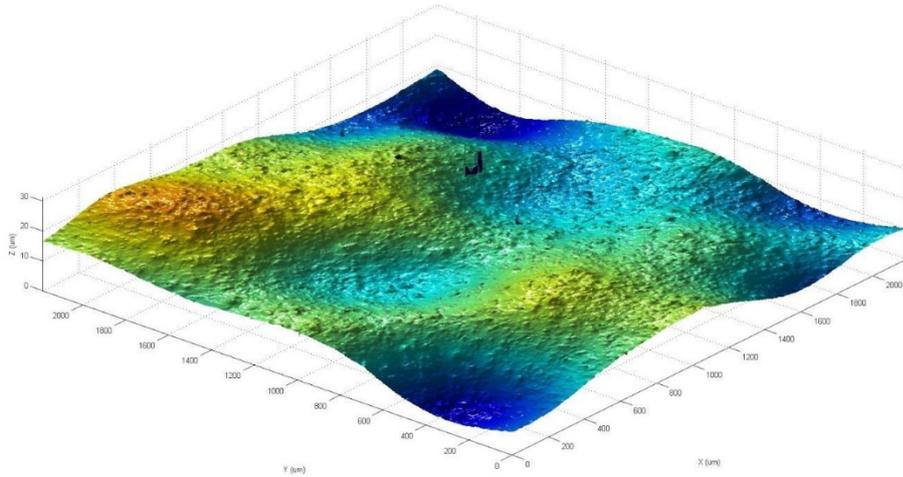


图 1> 工件粗糙表面存在微米级的凹凸不平



图 2>粘接涂层表面粗糙，电磁感应接触式膜厚仪的测量偏差较大

杜绝返工

AAM 公司决定对工件实施全检以杜绝返工，测量每个组件的涂层厚度，而来自洛德（Lord）的Chemosil / Chemlok 专家推荐了涂魔师新型测厚技术。期间，AAM 公司已经成功引入涂魔师测厚系统并使用了超过四年时间(图3)。因为AAM 公司对每个零部件实行了工艺监控，所以能获得生产过程中的工艺偏差并及时进行参数调整。“无论是在使用粘胶时喷嘴出现了堵塞，还是材料粘度变化，只要涂层厚度超出了合格范围，就调整喷涂工艺参数。因此AAM 公司几乎即时就可以避免的产品返工。” coatmaster公司董事会成员AndorBariska说道。洛德（Lord）应用工程经理纪尧姆·卡雷(Guillaume Carre)认为，与coatmaster 公司的

合作是多方面明智的选择：如今，我们客户的产品很容易满足客户的需求。幸好有涂魔师非接触式测厚系统，我们的客户可以很好应用和检测我们的产品。



图3 >在 AAM Lyon，生产的每个扭转减振器都是使用涂魔师进行涂层厚度测量。将厚度等生产参数激光扫描成二维码。

瑞士非接触式无损湿膜测厚系统涂魔师

非接触式无损湿膜测厚系统涂魔师完美结合了无损测量和测量固化前漆膜即时得到干膜厚度的技术，实现了在生产工艺中直接高效测量粘胶剂或湿漆膜厚这一众多生产厂家的多年愿望。除了美国AAM公司，现已有多个国内外知名厂家将该系统成功投入到实际生产中，并对测量效果称赞不已。

苏黎世应用科学大学（ZHAW）的研究人员 Andor Bariska 和 Nils Reinke 与多个合作生产厂家共同开发了新型的涂层光热法的测试技术，并在这基础上研发了涂魔师非接触式无损测厚系统并将其成功集成到实际生产中。该测厚系统利用涂层的热性能来实现非接触无损测量涂层厚度，首先用计算机控制闪光灯对未固化的漆膜或粘胶剂涂层部位进行短暂脉冲加热。高速红外传感器记录下涂层随时间变化的表面温度，表面温度根据涂层厚度和热性能以特征动态进行衰减，每个测量过程平均要分析100,000个温度读数，涂层越厚，冷却速度越慢。利用专门开发的算法评估表面的动态温度分布情况，最后可以定量确定涂层厚度。

该系统专门避免采用有害光源（如激光、Beta 或 X-射线源），对人体、产品和环境不会造成危害。测量速度可达每秒测一次(1Hz)，能轻松在同一零部件上进行多点测量。即使是粗糙表面，该系统也能快速精准测量出产品的涂层厚度分布情况。

此外，该测量系统具有测量精度高、重复性好、不限测试底材、轻松测量外形复杂的零部件，可测曲面，内壁以及角落处、测量各种颜色涂料等优势，有效保证与工艺质量相关的关键参数达合格范围。

显然，传统的测量方法与新型测厚系统涂魔师相比，前者存在许多不足之处。

一、非接触式测厚系统优于传统的显微镜等微观测量法

显微镜等微观测量法只能从组件中提取很小区域进行厚度分析。如图4所示，不能从局部测量结果中精准可靠推导出产品整体的涂层厚度情况。

另外，显微镜测量法非常耗时和耗人力。操作人员必须先将样品嵌入到载体树脂中，然后进行抛光打磨，最后得到一个可供分析的干净涂层截面。该过程可能耗数小时甚至数天，因此不适合实时的工艺控制。

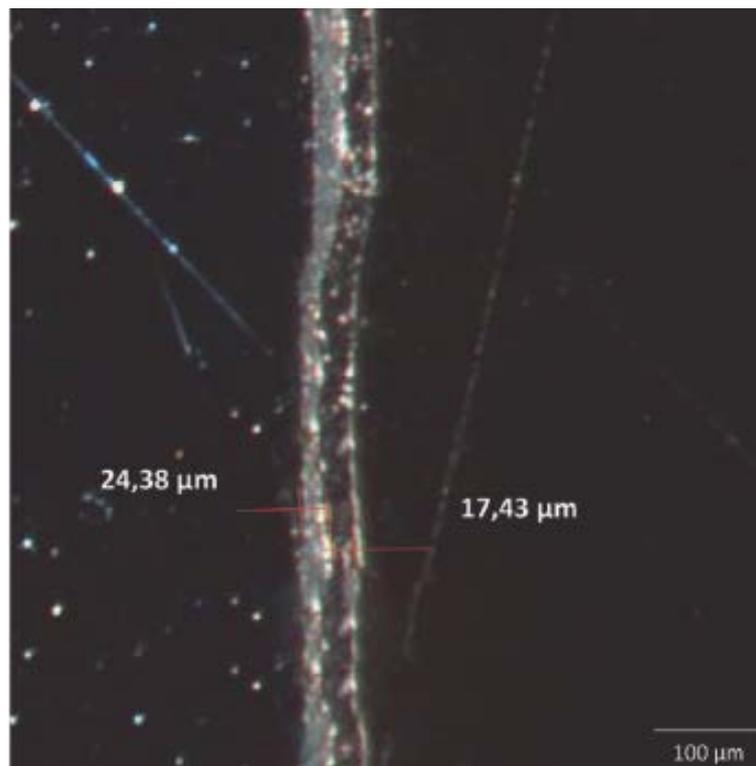


图 4 > 双层粘胶剂涂层的微观截面图像表明，局部涂层厚度测量存在较大波动

二、非接触式测厚系统优于传统的电磁感应测厚法

如今喷涂行业仍有使用电磁感应测厚仪测量涂层厚度。该仪器的磁性探头需要在喷涂后的金属部件上进行接触测量。因为磁场会随涂层厚度的不同发生改变，因此可以根据磁场变

化推断涂层厚度。然而，若该仪器应用在橡胶-金属粘胶剂，存在以下两个问题：

- ✧ 在粗糙表面上发生较大测量偏差，如上文所述；
- ✧ 接触式测量，容易导致涂层发生弹性变形，破坏涂层。

涂层在接触式测量中呈锯齿形状，因此测量值波动较大。比较研究表明，磁感应测量法的测量值比使用涂魔师非接触测厚系统的测量值的测量偏差更大。

对于洛德（Lord）的Guillaume Carre，非接触式无损测量更是涂魔师的突出优势。

“它可以灵活无损测量外形复杂零部件的涂层厚度，不受测试距离和测试角度限制，使涂魔师极大地适合投入到生产线。”

此外，该系统使用和校准操作非常简单，无要求操作人员具备专业知识，且其测量速度快和测试重复性好，可以高效实时非接触监控产品的生产工艺，稳定喷涂质量。

在汽车行业中，为了能严格评估测量仪器，对于涂层厚度的质量标准特别引入了关键质量性能参数 C_g 。 C_g 值是根据 Bosch 博世第十版手册中的公式所计算，公式如下：

$$C_g = \frac{0.2 \times T}{6 \times S_g}$$

该参数与测量的两个重要参数有关：一是合格范围（T），它表示涂层厚度的允许范围；二是测量仪器本身的测量偏差（ S_g ），由重复测量得出。喷涂工艺的合格范围与测量仪器的测量偏差的比值不能低于规定的合格值。

对于汽车行业，只有测量设备的 C_g 值大于 1.33 才视为产品质量合格，这相当于合格范围（T）与仪器的测量偏差（ S_g ）的比值大于 40。

传统的涡流或磁感应测厚仪测量粘胶剂涂层厚度时，通常会出现几微米的测量偏差，这导致 C_g 值远远低于 1.33。因此，这些传统的测厚仪往往不能获得质量认证。而新型非接触式无损湿膜测厚系统涂魔师对粘胶剂进行非接触式涂层厚度测量，测量偏差为 70 纳米

（=0.07 微米），计算得 C_g 值为 4.5，大大满足了汽车行业的行业标准要求，而 AAM 公司之前使用的磁感应测厚法，其 C_g 值却是低于 0.4。由此可见，涂魔师测厚系统比传统的磁感应测厚仪更适合无损监控生产工艺。

结合涂魔师测厚系统在线回路控制生产工艺

涂魔师非接触式测厚系统多方面协助并促进 AAM 公司的产品生产——例如关于扭转减振器生产过程的提供可追溯性。如今，AAM 公司对所有组件都压印了含有该组件的重要参数的二维码——包括通过涂魔师测得的涂层厚度。Andor Bariska 解释到：“如果产品出现质量问题，涂魔师能及时发现组件的涂层厚度是否在合格范围内。”并且，该系

统可以确定哪个工艺步骤出现了错误。AAM 公司的Jean-Philippe Caillot 表示，涂魔师可以实现回路控制生产工艺是其另一优势：“在AAM Lyon，我们使用涂魔师对产品生产过程进行完整追溯。将该在线式无损涂层厚度测量系统 涂魔师集成到回路控制中，及时纠正工艺偏差，这是使我们的生产工艺适应工业标准 4.0 的不断发展的因素之一。

即将把程序列入正式标准

Andor Bariska 强调，整合涂魔师到AAM 公司的生产线这一项目进行得非常顺利。“在有资质的实验室测量参考标准后，AAM 公司可以自行调整设备参数。根据要求，我们还会提供证明系统可靠性的校准证书，并将会介绍涂魔师的测量标准和测量原理。各标准化机构决定了将该程序与DIN ISO 2808 规范的修订一起成为已认可的涂层厚度测量方法。这证实了涂魔师非接触式测厚系统能可靠精准测量各种零部件的粘胶剂、涂层厚度，而不仅是扭转减振器。

