

全方位共振检测技术的应用

作者: Richard W. Bono, The Modal Shop, Inc. 美国 PCB®集团子公司

翻译: 赵光, 美国压电有限公司(PCB®)上海代表处

© 2009 American Foundry Society

提要

汽车制造业和消费群体对产品质量的期望日益增长, 对无瑕疵的原材料供应标准也逐渐提高。为了达到零瑕疵, 生产商把目光投向了无损检测系统(NDT)。这种在线检测方式要求精准可靠的结果以及高效的吞吐能力。声学共振法无损检测系统(RAM-NDT)提供了一种已验证的标准技术(ASTM E2001), 是满足以上需求的关键技术, 并且可以经济地实现自动化。RAM-NDT对普通零件瑕疵采用的检测手段和NASA测试飞机硬件以及汽车生产商验证汽车设计的方法类似。RAM-NDT采用了结构动力学和统计变差方法, 提供了实验室已验证的成熟的检测技术, 适用于多种生产环境, 经济可靠。

The Modal Shop (TMS) 的RAM-NDT系统应用了一种在部分等级上通过检测零件结构的完整性来检测瑕疵的共振技术。这种技术可以实现自动化, 避免了人为操作产生的误差, 具有吞吐量大, 性价比高以及低干扰的特点。RAM-NDT在粉末冶金、零件铸造生产线上已经取得了一系列的成功, 是生产高质量产品的一种最简单有效的解决方案。

共振检测的基本原理

传统NDT技术, 比如超声波和磁粉探伤注重于检测和诊断瑕疵。这些都是基于扫描特定瑕疵标识的视觉图像技术。对于生产线质量检测, 分析瑕疵的种类不是最重要的, 重要的是检测出有瑕疵的零件。检测特种瑕疵在检查某些系统的时候是比较适用的, 比如说使用超声波检测燃气输送管路, 但这种手段不适合全方位检测金属零部件。对于生产线来说最重要的是检查一个零件是否带有瑕疵而不是它为什么带有瑕疵。因此, 生产线末端需要一个通过/不通过的检测系统, 比如说, RAM-NDT, 来进行客观检测。RAM-NDT在某些情况也适合于分析瑕疵产生的原因。

共振超声波波谱(RUS), 是一类常见的RAM-NDT。它最早是在1998年被ASTM国际标准批准的, 现行的版本是在2008年7月1日通过的。在商业无损测试方面, RUS有着另外一个名字, 声学共振波谱(ARS), 通俗的说也叫共振检测(RI)。基于RUS的NDT技术均给予零件机械振动然后根据给定的零件共振频谱中可测量的参数变化来检测瑕疵。这种技术在钢制、烧结和陶瓷零件的质量检测应用中比较普遍。

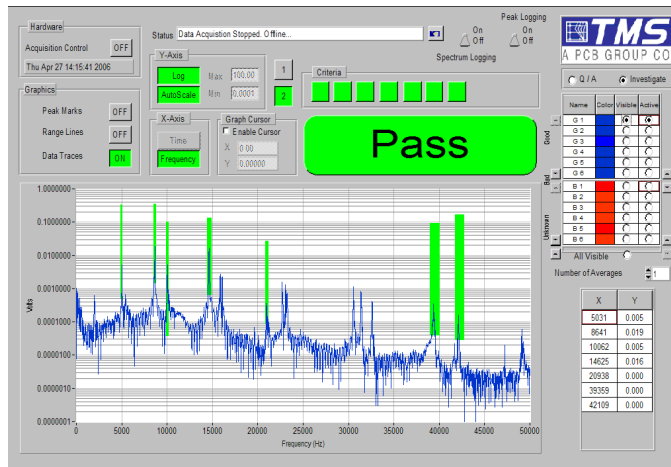
RI先检测零件的结构响应然后对比一系列合格零件的统计变差来检查瑕疵。这种方法可以从内部到外部全方位检测零件的瑕疵, 提供大量客观的结果。结构响应是由零件机械共振频率决定的一种独特的可测量的特性。共振频率是由零件形状和材料决定的, 是RI技术的基础。通过测试零件的共振频率就可以得到该零件的系统特征。表一提供了金属粉末冶炼铸造应用方面上普通瑕疵对结构特性的影响。前面讨论的传统NDT技术也可以检测出这些瑕疵, 但是通常只有RI可以在一项测试中完成对整个零件(包括深层瑕疵)的自动化客观测量。

表一. 共振检测测得的常规结构瑕疵。

铸造	锻造	粉末金属
裂纹	裂纹	裂纹
球化率	漏击或者双击	碎片
疏松	疏松	空洞
硬度/密度	硬度	硬度/密度
包裹体	包裹体	包裹体
热处理	热处理	热处理
抗压强度和残余应力	淬火问题	脱碳
冷隔	重叠	氧化
原料污染	原料污染	原料污染
遗漏工序	遗漏工序	遗漏工序

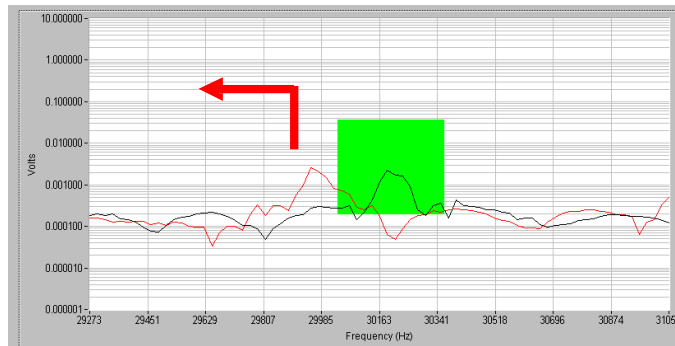
使用RI分拣了有缺陷的零件后，传统NDT技术可以对少量零件进行主观诊断。这对于检测瑕疵根源，改进生产工艺有着极大地帮助。

TMS 的NDT系统使用声学共振技术采用冲击零件后使用传声器“监听”声谱来进行共振检测。可调控的冲击用来提供宽频的输入能量来激励零件，传声器可以对零件的结构响应进行无接触的监听。零件的机械共振频率在特定的自然频率下提高了宽频输入能量，显示为频谱中的波峰，这些都是通过传声器在自然噪声环境中进行测量的。合格的零件的频谱特性均一致(这些零件的机械共振频率相同)，而不合格的零件的频谱则不相同。波峰频率和幅度的偏移即为结构特性异同，导致零件检测不合格。图一为一个0到50kHz的频谱样例。



图一. 一个金属零件的常规声谱图，上限为50 kHz，由NDT-RAM生成，在七个自然共振频率上标有标准范围(图中绿色竖直线)

明显的瑕疵通过耳朵就可以分辨出声音的不同，但人耳听力是主观的并且频率最高才20 kHz。通过分析20 kHz到50 kHz的数据可以检测出更微小的瑕疵。通常这些瑕疵会导致图二所示的频率偏移。这些偏移对应了特定的瑕疵对机械共振频率的影响，不同共振频率图样代表了不同的瑕疵。设置越多的标准的共振频率，可以检测出的瑕疵越细微，更能反映零件的整体机械结构。



图二.数据显示了零件结构瑕疵导致的频率偏移.

RAM-NDT的基本测量工序可以很容易地实现自动化，并且检测吞吐量十分高。无需对零件进行预处理：不需要磁化、清洁以及浸润，节省了使用化学药剂等预处理带来的成本。冲击和无接触响应测量(通过传声器)可以在传送带上进行测量，通常每秒钟可以处理一个零件。这些零件不需要进行停止并且可以使用简单的导轨来进行零件定位，因此不需要使用昂贵的精准定位机械，适合于不同类型形状的零件检测。TMS 的RAM-NDT系统容易实现自动化，吞吐容量大，可以对客观结果进行量化分析，非常适合工厂和高质量控制测试应用。图三为一个典型的生产线安装样例。

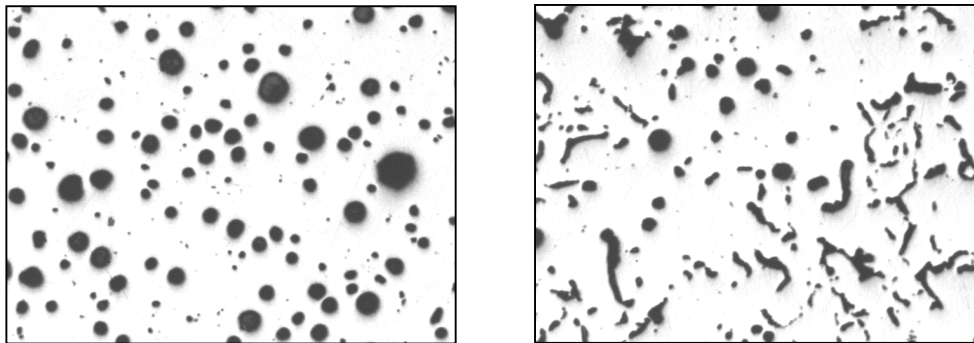


图三.工厂全自动化系统，使用音盒来测试零件.

铸铁诊断-检测球化率

RAM-NDT的一种典型应用就是测试铸铁中不同大小的球化率。铸铁是一种高碳含量的金属合金。金属凝固过程中，碳可能变为石墨，形成微小的非常规薄片进而打乱了晶体结构，导致金属脆裂。在铸铁中石墨会形成球形，从而阻止了裂缝的形成，增强了延展性和机械可加工性。

ASM这样定义球化率：铸铁或石墨和铁混合物中球形石墨占总石墨的体积比。换言之，即为球形石墨球化率占石墨粒子总数的百分比-球化率越高，延展度就越高。图四显示了高球化率(93%)和低球化率(55%)的铸铁微结构的不同。



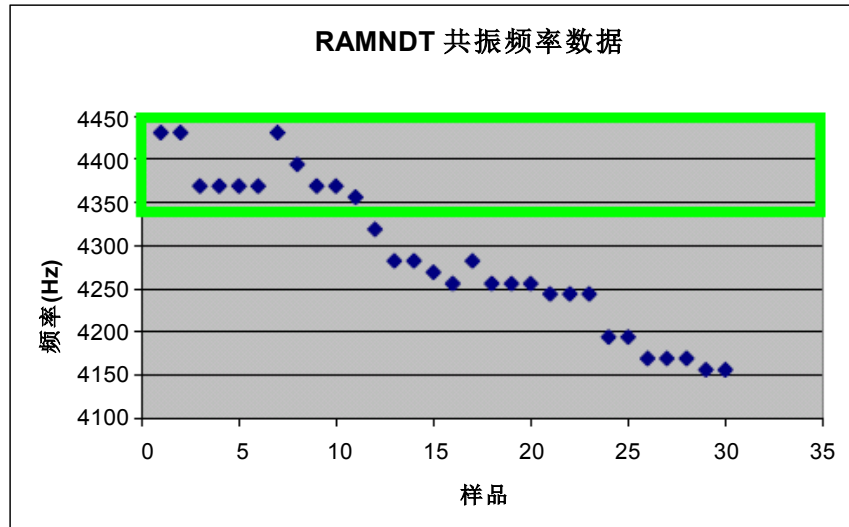
图四. 高球化率(93%)图左和低球化率(55%)图右微结构的不同

通常，零件设计者会制定球化率的最低值(通常大于80%-85%)来确保延展性。用来检测这个值的传统手段是超声波。超声波技术测量穿透材料的声波速度。基本上，球形石墨球化率不会吸收超声波能量而片状石墨粒子则会。因此，球化率的材料对应的声波速度也快。

现在我们通过一组刹车盘来评测一下RAM-NDT系统检验铸铁延展度的效率。这些刹车盘先使用超声波技术(UT)来进行全检，再通过RAM-NDT进行全检。超声波速度和共振频率记录如下。然后全部刹车盘再被剖分对断面d的微结构进行球化率分析。三十组样品的检测结果见表二，同时图五也显示了RAM-NDT和球化率的修正图。

表二. RAM-NDT和 UT球化率度检测数据

样品	UT 法 速度(m/sec)	RAM-NDT 法 频率(Hz)	成功/失败	%球化率
1	5600	4431	P	95
2	5600	4431	P	95
3	5600	4369	P	95
4	5600	4369	P	95
5	5620	4369	P	95
6	5620	4369	P	95
7	5600	4431	P	95
8	5620	4394	P	95
9	5620	4369	P	95
10	5620	4369	P	95
11	5570	4356	P	85
12	5540	4319	F	80
13	5570	4282	F	80
14	5550	4282	F	80
15	5550	4269	F	80
16	5550	4256	F	80
17	5560	4282	F	80
18	5510	4256	F	70
19	5510	4256	F	70
20	5510	4256	F	70
21	5470	4244	F	60
22	5430	4244	F	60
23	5460	4244	F	60
24	5370	4194	F	40
25	5350	4194	F	40
26	5370	4169	F	40
27	5350	4169	F	30
28	5320	4169	F	30
29	5300	4156	F	20
30	5280	4156	F	20



图五.4 kHz 下 RAM-NDT 共振频率检测和球化率、修正。绿框显示了样品 1-11 的球化率高于 85%。样品 12-30 的球化率在 20% 到 80% 之间

结果清楚地显示了RAM-NDT可以准确地检测铸铁零件的球化率，比起超声波速度检测分拣样品的分辨率更高。使用RAM-NDT，即使球化率在80%到85%的样品可以分拣开，而速度检测则无法分拣开这一范围的样品-注意表二的UT速度值在5550m/sec附近震荡。

另外，RAM-NDT系统很多性能都优于UT超声波检测系统。超声波检测只能检测铸铁的一个断面-通常是最容易检测低球化率的点。其他位置的球化率就无法进行检测。RAM-NDT系统采用容积检测技术，可以检测整个铸铁件的球化率。RAM-NDT系统是在自然环境中进行测试，无需进行浸润清理，没有生锈的隐患。最后一点，RAM-NDT可以进行快速高效检测，可以进行经济的自动化操作。

结论

RAM-NDT技术在过去的五年内在全球各大汽车工业商中迅速普及。这种技术在近些年迅速取代传统检测方法。与计量实验室中复杂的工程工作站不同，RAM-NDT可以进行迅速客观的全方位检测。RAM-NDT系统可以提供简易、可靠、经济的检测，极大地提升了产品质量，提高效益。

参考文献

1. ASTM Standard E2001-08, Standard Guide for Resonant Ultrasonic Spectroscopy for Defect Detection in Both Metallic and Non-metallic Parts.
2. Gail Stultz, Richard Bono and Mark Schiefer, "Fundamentals of Resonant Acoustic Method NDT", www.modalshop.com
3. Mark Willcox, "Ultrasonic Velocity Measurement Used to Assess the Quality of Iron Castings", www.insightNDT.com