



超声相控阵检测数据分析与3D可视化

论文发表于第十届核级承压部件结构完整性无损评价会议,

戛纳 (法国), 2013年十月1-3日

超声相控阵检测数据分析与3D可视化

Johan Berlinger, David Reilly, Daniel Richard, Guy Maes (Zetec Inc., 加拿大)

摘要

相控阵作为一项成熟且被广泛使用的技术,现已被用于航空航天、石油天然气、核电、重工等多个行业进行关键性部件的高效率的超声检测。

同时, 各行业领域为应对更多具有挑战性的检测应用也在不断寻求更具创新性与高效性的检测方案, 这也需求更多高级的软件功能特性。

本文将介绍近阶段开发与增强的用于支持几何结构复杂工件检测的软件工具:

- 支持精确的CAD模型文件导入, 或者使用手动轮廓生成工具生成, 位置C扫数据, 或激光扫描设备
- 先进的相控阵探头设计, 仿真及控制, 优化检测能力用于更具挑战性的应用
- 全面的扫查器仿真工具可支持不同的扫查器类型; 探头与扫查器联调有助于得到精确完整的波束覆盖图
- 检测数据在复杂结构3D模型内的快速高效融合, 包括回波显示与耦合间隙校正
- 笛卡尔与极坐标系结合使用, 通过合适的工具用于缺陷定位、定量及可视化显示 (截面, 3D指针, 画图工具)

本文将呈现多个实例用于阐述新软件工具在相控阵探头与检测序列设计上的潜力, 以及检测结果在3D环境下的分析与可用于不同超声检测显示的特性。

前言

高级3D可视化工具可被用于各种超声检测方案的设计与验证, 同时对于检测数据的分析与详细缺陷报告的生成也帮助极大。这些特性适用于常规超声与相控阵检测。尽管如此, 超声相控阵对强大的软件工具的需求更大, 因为这些特性经常用于复杂结构工件的检测 (1), 且经常会涉及单个探头生成多波束的场景:例如, 二维面阵技术的进一步应用, 用于生成带有一定折射与偏转角度的波束。

3D 波束追踪可用于根据给定工件与缺陷, 确定探头的最佳检测位置与折射、偏转角度。若能找到相应的具有代表性的CAD模型, 便可根据缺陷的入射角度得到精确的信息, 从而初步得出可检测性的评估。波束追踪还可以提供工件内缺陷回波及结构信号的传播时间。3D波束还可用于提供聚焦法则及其形成的图像显示。多条波束可提供单晶或相控阵探头的覆盖范围显示。

波束仿真可用于探头及楔块设计, 且可用于评估特定检测应用下探头适用与否。波束仿真还可提供详细探头特性的有用信息:

能否生成特定的波束;是否存在旁瓣与栅瓣现象;使用楔块后横波与纵波分量相对强度;失效晶片对声场的影响。

结合上文中提到的波束追踪功能将会得到精确的探头波束轨迹,这将允许超声技术开发者对检测技术的覆盖情况进行评估及优化。

最终, 通过将准确与直观的3D可视化检测数据将显示在实际工件的CAD模型内, 而这极大地促进与加快了复杂结构工件的相控阵检测数据分析过程。通过软件3D成像方式, 有助于实现缺陷的精确定位与定量。此外,在CAD模型上不断进行3D波束追踪可改进对缺陷特征的描述。

Zetec于2008年开创了UltraVision®3软件平台,并于2010年完成了对早期的软件内3D工具包的迁移(2)。自从那时起,来自众多用户申请以及自定义应用项目开发导致了最新的UV 3.5版本中具有许多基础改进与变动之处。

工件特性

任何超声检测技术开发的输入信息都由详细的检测目的及完整且精确的检测配置描述构成。

检测目的包含了对各种可能缺陷的完整描述:类型,尺寸,位置,走向及其它特征;同时还包含了检测的具体要求与所有缺陷的定量。

检测配置的描述应包含工件或待检焊缝的精确图像呈现,母材或焊材的详细信息,以及任何与检测技术或设备相关的准入限制。

显然, 在超声或相控阵软件工具包中使用待检工件的CAD模型将会极大的促进与加快检测前的准备工作。UltraVision® 3 提供了多种途径来实现这一目标。

对于某些检测配置, 通常是复杂但常见的检测面, 该软件可预设一系列预定义的带有焊缝的工件, 而操作者可通过修改相应参数来模拟实际的检测配置

在其它情况下, 实际工件的CAD模型很容易获取,因此可以很轻易的使用*.SAT格式的文件进行导入。

然而,对于存在大量检测应用的现场,很多时候没有已建好精确CAD模型。为解决这一问题, UltraVision 3提供了“工件生成器”工具, 可直接由复杂检测面直接创建3D工件。

此外, 由3D激光扫描生成的工件CAD文件在UltraVision环境下可轻松导入。

另外一种新的途径是从0°通道的位置C扫数据生成表面轮廓(无论相控阵还是常规超声)。为精确的生成粗糙与波状表面, 原始位置数据需进行一些处理。图1展示了对超声位置数据的处理:左边的原始位置数据没有界面反射信号,中间的图像展示了经噪点滤除算法处理后的结果,而右图展示的是经过平滑后的最终数据。

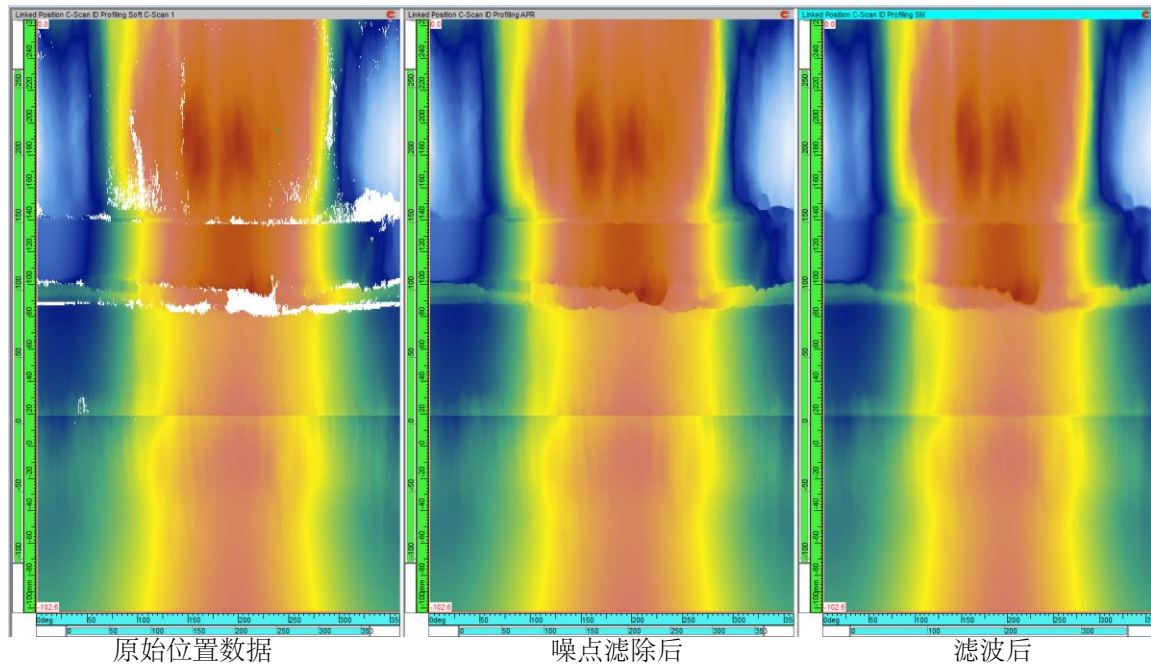


图 1: 异种金属焊缝ID试块位置C扫数据(由AREVA提供)

经滤波后的位置C扫数据现已可用于生成待检测工件的ID轮廓

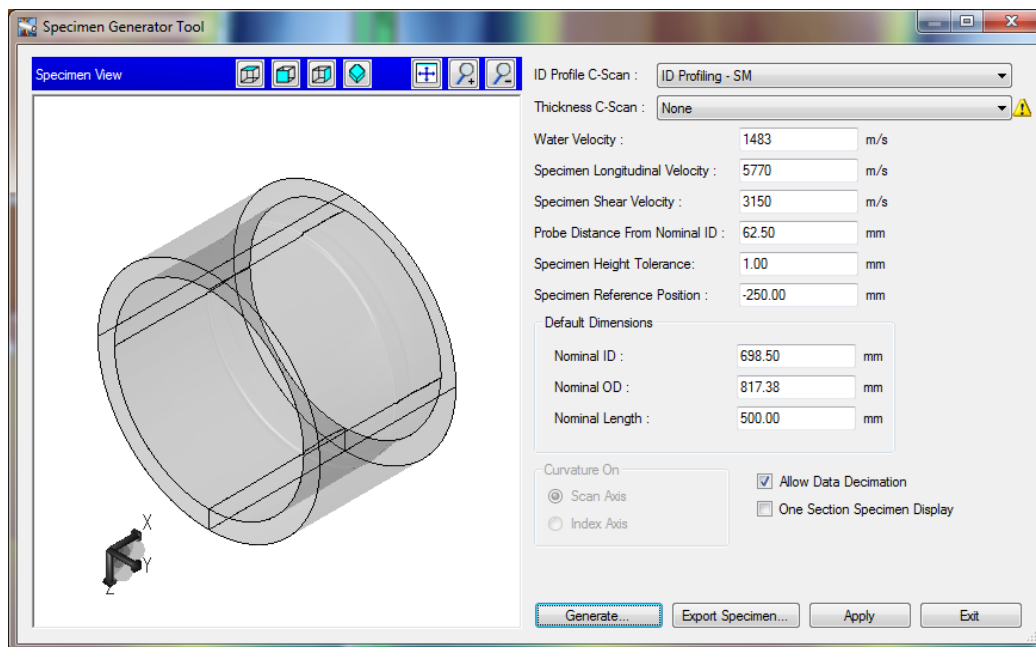


图 2: 异种金属焊缝试块ID轮廓生成 (由AREVA提供)

独立的生成CAD模型的方法,同时可对工件材料进行人为定义且可插入假定的缺陷用于检验波束覆盖。当前软件支持椭圆形,圆形及方形等面积型缺陷,或者内部及表面裂纹,此外还可通过外部导入 *.SAT格式的文件生成自定义缺陷类型。

先进的相控阵探头设计

检测方案的开发应从波束路径的确认开始,这将有利于从出射点开始重新对波束进行定向,从而确认将整个检测区域全部覆盖。显然,通过计算机的计算3D波束覆盖可极大地加速这一进程。

一旦确定了适用于特定缺陷检测的波束路径与检测波型,下一个任务即是设计出能生成相应波束的相控阵探头。波束的声场仿真工具对于探头及楔块的参数优化改进是一个很好的辅助工具。**UltraVision 3**支持用户对不同相控阵探头产生的声场贡献进行计算、可视化以及量化定性,从常规的单晶探头到先进的两维面阵探头以及柔性阵列探头。

随着相控阵技术的日益成熟以及越来越广泛的被使用,市面上出现了越来越多的专用探头。为了通过**UltraVision**软件平台正常的使用这些专用探头,在PA计算器内加入了一种自定义的阵列探头类型。这将赋予用户使用xml文件完全进行专用探头自定义的自由。

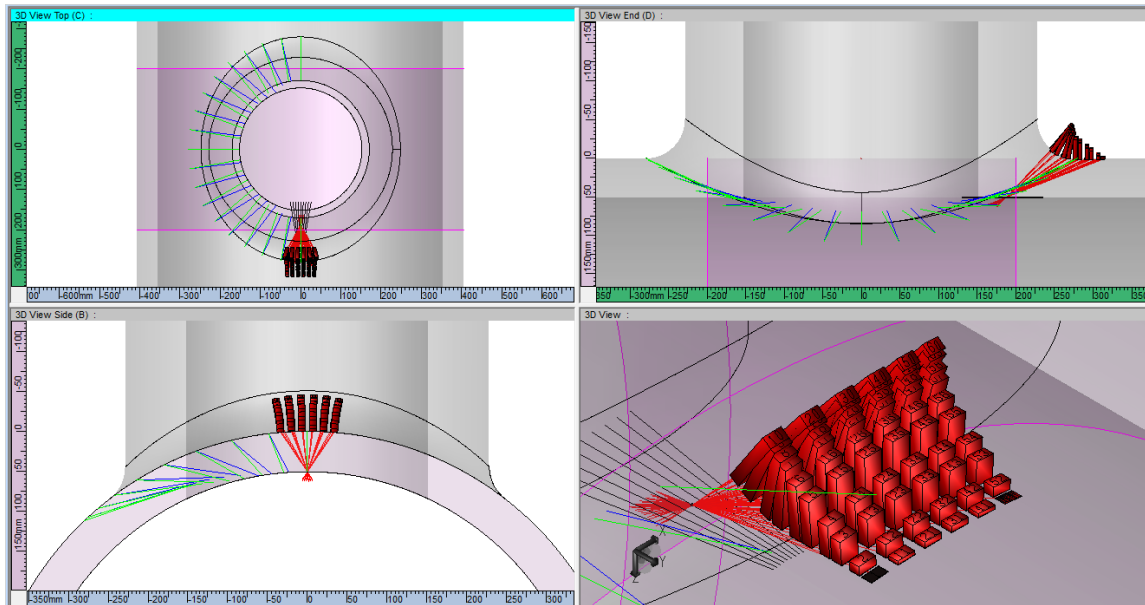


图3: 两维面阵柔性探头自定义 (由Laborelec提供)

图3为我们展示了一种可用于马鞍状焊缝检测的自定义两维面阵柔性探头实例(3)。在这个探头中,每两个晶片靠在一起成为一个小组并通过弹簧加载,因此探头整体始终可以与马鞍状表面贴合。晶片组合的结果使得探头主轴的晶片中心间距不是始终保持一致的,因此将这种晶片组合定义为自定义阵列探头。

图4展示的是另一种自定义阵列探头的实例,实例当中通过.xml文件创建了专用的环形阵列。环形阵列的每一环由多个晶片组成且每一个晶片尺寸不一。通过.xml文件,可以单独定义每个晶片的尺寸、位置、法线方向、旋转角度及晶片编号。一旦将.xml文件导入**UltraVision**软件之后,由此生成的环形阵列探头可以像普通探头一样工作且可以轻松安装在楔块上。

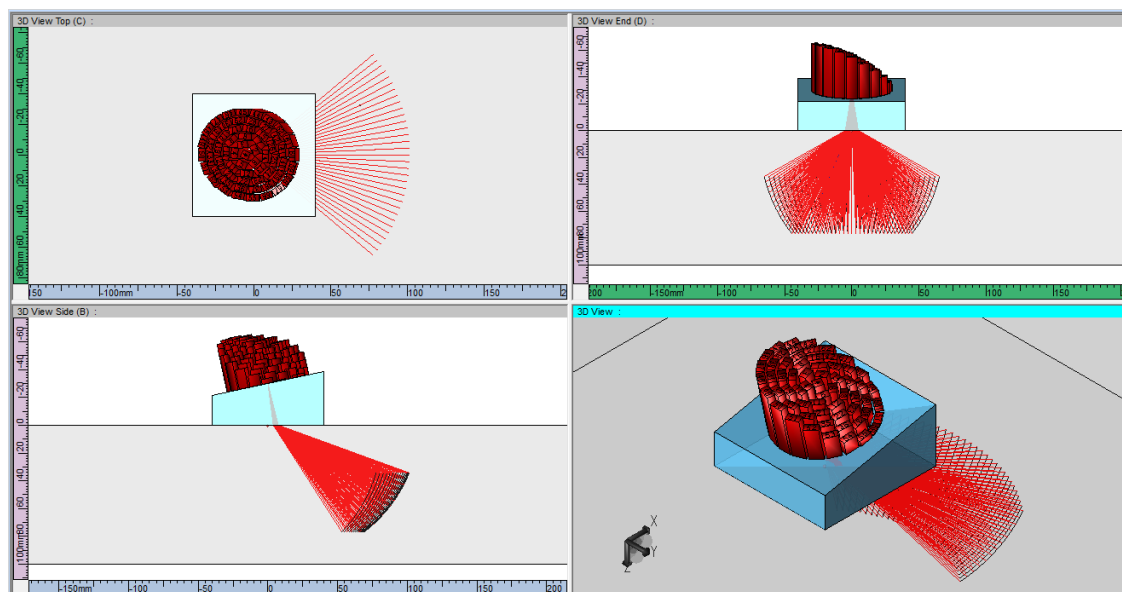


图 4: 带有楔块的自定义环形阵列探头(xml文件)

图5为Zetec开发出的大型转子锻件的检测方案(4)。QUAD探头由四组二维阵列(8x8晶片)构成, 这些晶片阵列安装在楔块上。由于阵列之间的间距取决于工件尺寸, 由于探头次轴晶片中心间距变化故唯一正确的设置方法便是通过自定义阵列的方法。

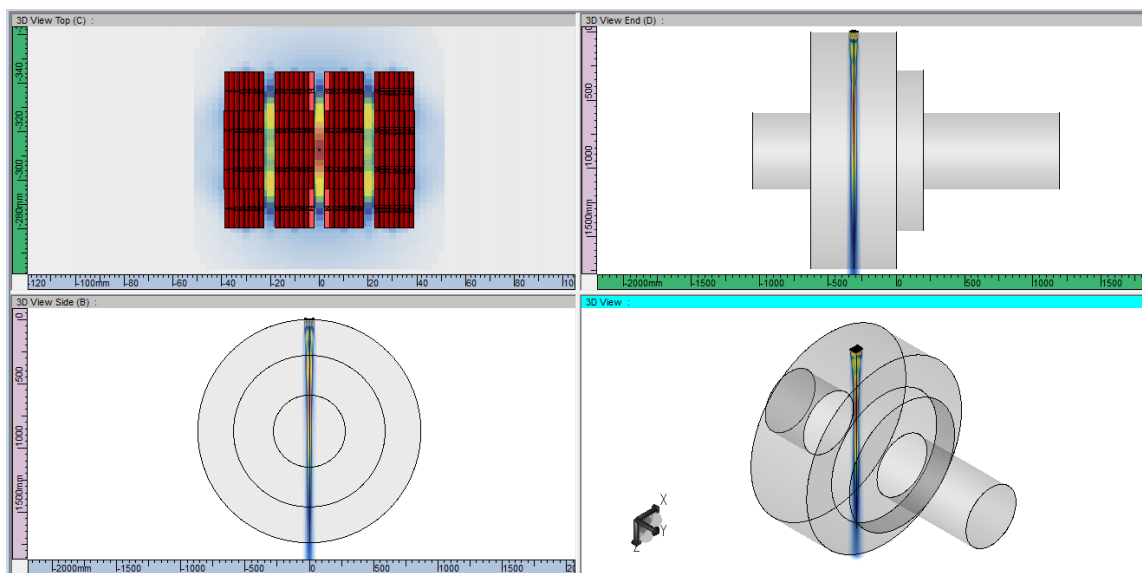


图 5: 自定义柔性二维面阵 (QUAD 探头)

声场仿真也可适用于自定义阵列探头, 故技术开发工程师可以借此对其检测技术在不同检测区域内的检测能力及横向分辨率进行完整的评估。所以能在检测之前尽早的完成技术方案的决定, 以避免因替换探头或方案改进造成额外的时间和成本的浪费。

扫查器仿真工具

检测方案开发的另外重要之处是对检测区域的覆盖进行精确的评估,且需要将焊缝因素,复杂几何结构及方案可实施性等考虑进去。

UltraVision3包含了扫查器仿真工具可模拟探头在工件的移动。在任意一个探头位置,都可以生成完整的波束,包含检测过程中所需的折射/偏转角度。

此外,实际的探头/楔块可通过扫查器联动,可在任意位置生成更优化的聚焦法则及进行声场仿真。

UV软件还支持各种常见的扫查器类型:简单的一维线性扫查器,XY两轴扫查器,管道内壁及外壁扫查器,用于几何结构复杂的极坐标扫查器与投影线性扫查器。

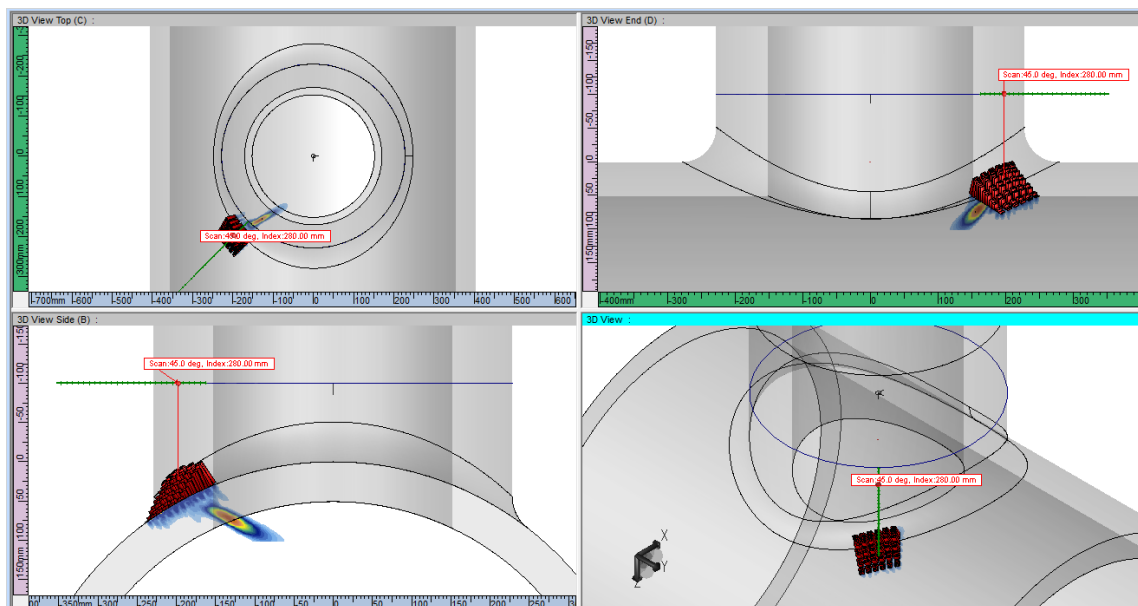


图 6: 两维面阵柔性探头与极坐标扫查器连接(由Laborelec提供)

以上例子展示了极坐标扫查器在shell上的扫查情况。两维面阵柔性通过弹簧加载与扫查器相连所以探头可以在接管表面自由移动并根据检测面法线调整偏转角度。图片展示的是探头当前位置的声场仿真情况。

图7展示了多探头与管道内壁扫查器联动用于从内壁对异种金属焊缝进行检测。所有探头均通过弹簧加载,且楔块的实际尺寸会被用于计算探头在工件表面位置及偏转角度。蓝线为法线而红线为用于耦合补偿。耦合间隙对折射角度与传播时间的影响会自动计算出来。

经耦合校正后的波束会被用于实际数据在3D环境的合成。

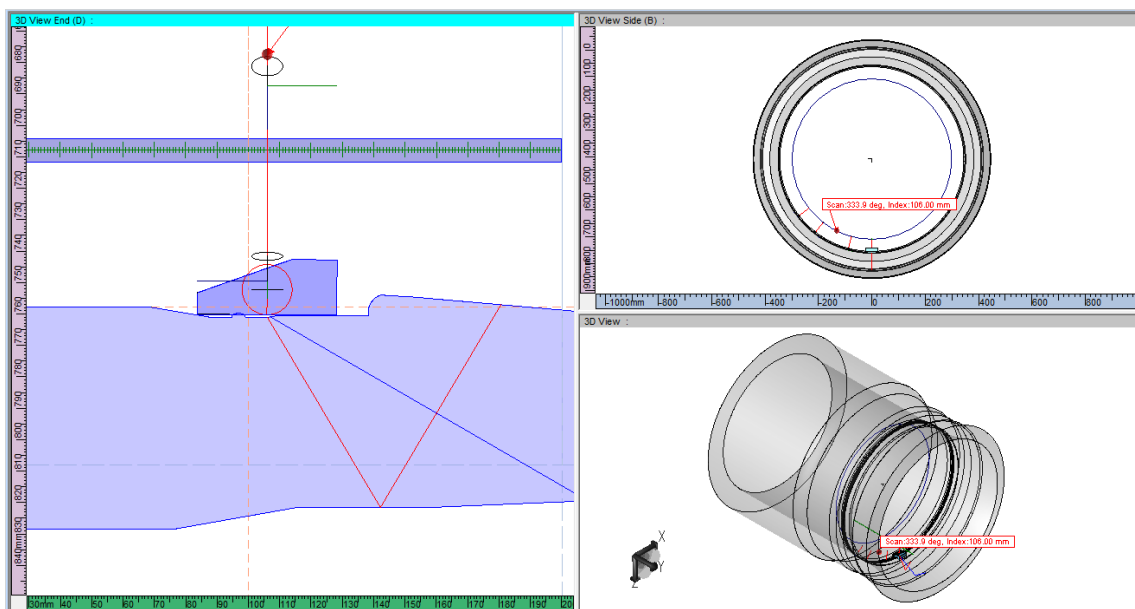


图 7: 多探头与管道内壁扫查器联动用于长工件接触扫查 (由AREVA提供)
波束与探头连动: 法线波束 (蓝) – 耦合监控波束 (红)

对于扫查模式更为复杂的工件, 有时会使用投影线性扫查器。在三维坐标中定义一条线直到接触到工件表面。当探头楔块与扫查相连时, 探头将沿着复杂工件表面移动。图8显示的是探头与扫查器联动和经过计算的聚焦法则, 且偏转方向始终相对于表面的法线。

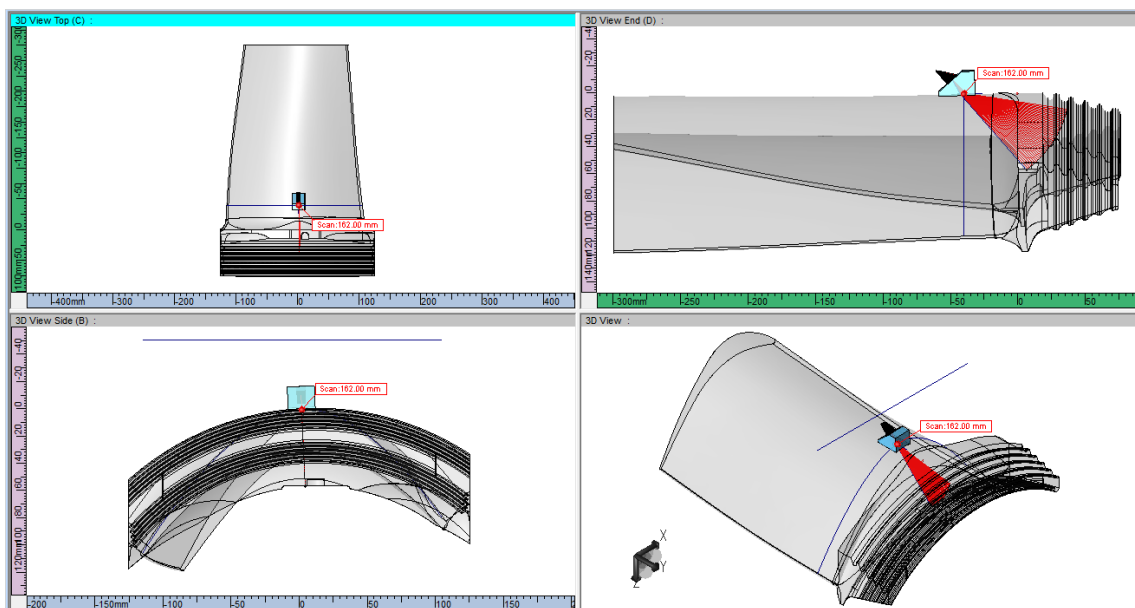


图 8: 汽轮机叶片投影线扫查器

检测数据分析与3D可视化

软件工具包将采集后的数据在CAD模型内通过3D可视化显示出来可极大的提高数据分析的质量与效率。此特性可以允许对处于3D环境内的所有显示进行评估，且其大小及与几何结构的相对位置可被测量。

为生成精确的3D超声图像,需完成以下几步,涉及到UltraVision 3内各种工具。扫查其仿真工具可用于计算探头在实际工件上的位置及偏转角度。其次可以通过波束追踪功能计算波束路径。最终,将原始的A扫描数据通过成像的方式转换到三维坐标系中。

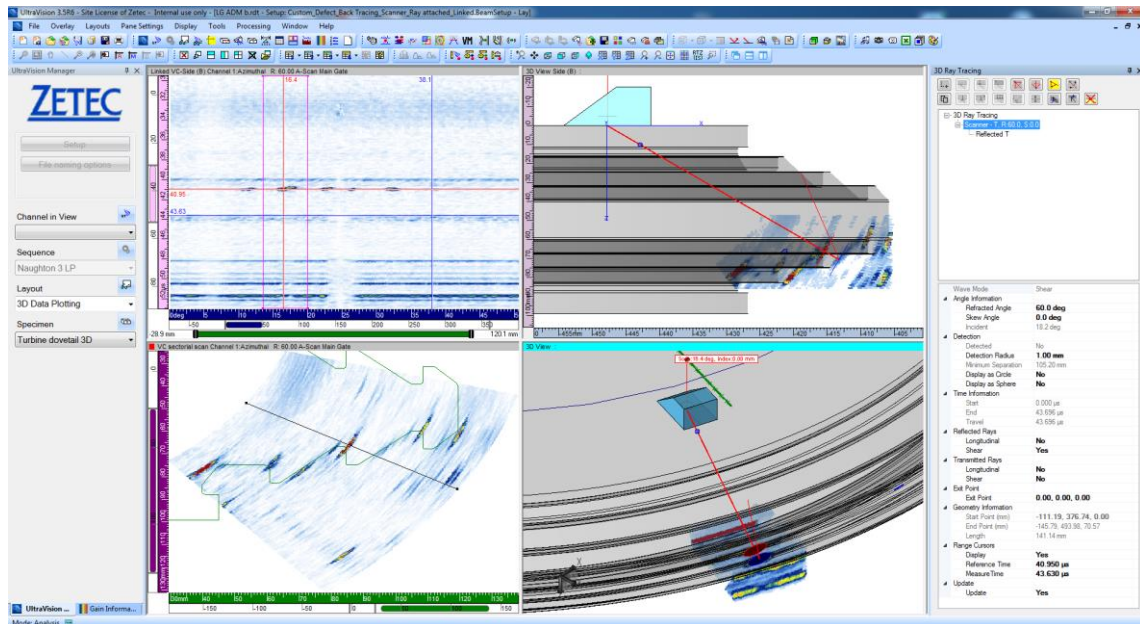


图 9: 汽轮机榫尾的波束追踪与3D数据合成
(由Structural Integrity Associates提供)

图9展示了该过程的各个步骤:扫查器与两维平面视图内的参考指针联动并自动移动到相应位置, 探头楔块与扫查器联动沿工件表面移动, 同时附带的波束代表了当前位置的聚焦法则, 且A扫描数据沿着扫查路径叠加, 以在3D环境下创建真实的显示。

图10展示了从异种金属焊缝类表面采集到的相控阵数据进行两维投影及三维显示。考虑工件实际表面轮廓及楔块完整的, 可以得出探头精确的偏转角度。随后,同通过运用耦合间隙补偿软件可以精确的描绘出内壁裂纹的尺寸。

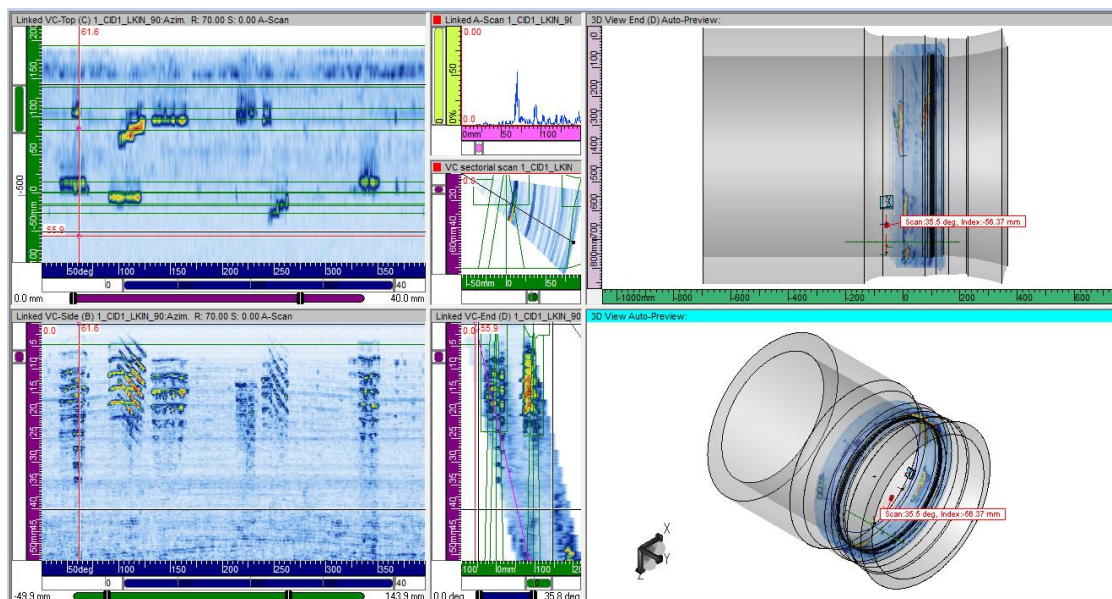


图10: 异种金属焊缝试块3D数据合成 (由AREVA提供)

为对圆柱或圆盘类工件数据进行高效分析,UltraVision软件可将笛卡尔坐标系轻松转换为极坐标系。包含了极坐标测量指针与3D数据的极坐标平面显示。

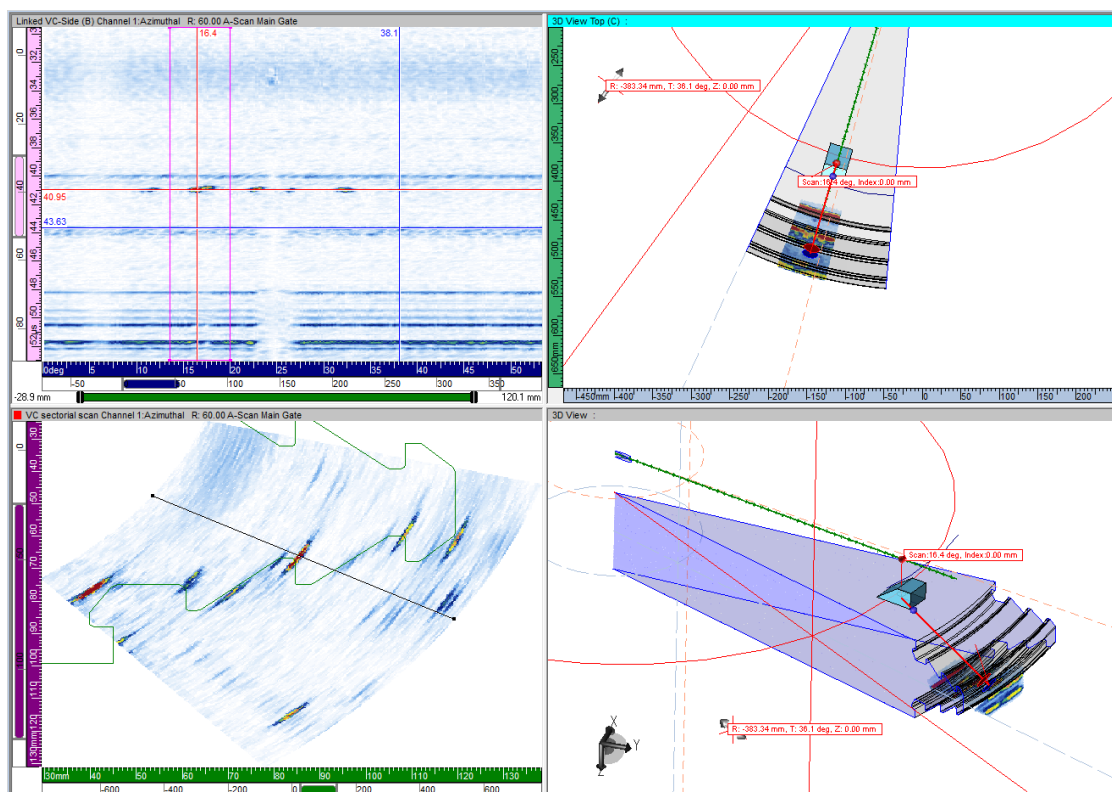


图 11: 汽轮机榫尾极坐标与截面显示
(由Structural Integrity Associates提供)

结论

1. 对于超声相控阵技术的开发与结构复杂工件的实际检测来说, 提供待检工件的精确CAD模型是一个非常重要的条件。
2. 应对更具挑战性的检测应用时需要更先进的探头设计; 同时为支持所需聚焦法则的生成及探头声场仿真软件性能也十分关键。
3. 对实际扫查机械与探头接口进行仿真可得到当前技术方案下的完整波束覆盖图像, 模拟实际扫查环境, 定义三维数据的合成环境。
4. 精确的超声3D图像, 考虑工件实际结构, 机械扫查与探头接触情况可极大的提高检测数据的分析能力, 尤其是潜在缺陷的定性与定量。
5. 如此先进的软件, 包含完整的3D环境与强大的分析工具如今已可进行商用, 且正被用于支持各种高级检测方案的实施。

参考文献

- 1) G. Maes, S. Turgeon, D. Reilly, “Advanced Phased Array UT Inspection through Complex Surfaces”, 7th Int. Conf. on NDE in Relation to Structural Integrity for Nuclear and Pressurized Components, Yokohama, May 2009
- 2) D. Richard, G. Maes, D. Reilly, J. Berlinger, “Advanced Software Tools for Design and Implementation of Phased Array UT Inspection Techniques on Complex Components”, 8th Int. Conf. on NDE in Relation to Structural Integrity for Nuclear and Pressurized Components, Berlin, October 2010
- 3) D. Moussebois, “Inspection of Complex 3-D Surfaces with Conformable UT PA Transducer”, 9th Int. Conf. on NDE in Relation to Structural Integrity for Nuclear and Pressurized Components, Seattle, May 2012
- 4) P. Tremblay, D. Verspeelt, “Design and Validation of a Semi-Flexible Phased Array UT Probe for the Inspection of Large Forged Rotors”, 9th Int. Conf. on NDE in Relation to Structural Integrity for Nuclear and Pressurized Components, Seattle, May 2012