

超声无损检测技术 提高制造实力

Enhance Manufacturing Strength With Ultrasonic Non-Destructive Testing Technology

英国超声波科学有限公司 王晓宁



王晓宁

毕业于北京航空航天大学材料科学与工程学院,毕业后从事与材料相关的设备技术支持及销售工作。曾全程陪同英国技术人员参与西南铝业集团超声波铝板材水浸探伤设备的安装、调试及培训工作,以及哈尔滨飞机工业集团喷水复合材料检测系统的安装、调试及培训工作。

超声无损检测技术是复合材料非常重要的检测手段,其使用的检测频率通常为 0.5~25MHz。超声脉冲通过探头发射进入待检测材料,并对反射和穿透信号进行分析,以得到材

料结构的相关信息。超声无损检测技术是复合材料非常重要的检测手段,其使用的检测频率通常为 0.5~25MHz。超声脉冲通过探头发射进入待检测材料,并对反射和穿透信号进行分析,以得到材料结构的相关信息。

料结构的相关信息。虽然手动检测方法还在广泛使用,但越来越多的航空制造企业开始使用自动化的检测系统以产生直观的扫描图像,如投影图像和横断面图像,即所说的 C 扫描和 B 扫描成像。

许多航空材料和结构可以用这种方式进行成像和显示,并可检测多种类型的缺陷。对于复合材料,需要检测粘接缺陷、分层缺陷、孔隙率以及分层间的异物等。

检测技术

用于自动化检测的设备通常使用 3 种耦合方式,从使从探头发射的超声有效进入待检零件,他们分别是接触法、水浸法和喷水法。

接触法,即让检测探头与待检测件直接接触。该方法的优点是在检测曲面零件时可使用机械跟踪器,但检测速度受到限制。

在大多数情况下,使用水浸或喷水方法进行自动化检测,待检测零件完全浸入水中,或声束通过喷出的水柱达到零件表面。水浸检测方法通常使用脉冲回波技术从一端进行检测,同一个探头既发射又接收。最近由超声波科学有限公司(USL)安装的水浸系统升级为可在 2 种模式下操作,根据检测的要求和零件的形状而定。在第一种模式下,复杂形状零件使用单探头,扫描线速度 500mm/s,往复运动间隔 1mm,即相当于每小时扫描面积大约为 2m²;系统还可以

以第二种更高效的方式进行扫描,该方式使用 100mm 宽的相控阵探头,将相控阵扫描和机械运动相结合。该方式在检测平板件和单曲面件时可实现每分钟 1m² 的产量,与单探头相比,生产能力大幅提升。

一个相控阵探头包含了 128 个独立的晶片,这些晶片以非常小的间隔,顺序发射超声脉冲。通常是每秒 20000 次,也就是说在相控阵探头随着机械运动机构覆盖整个零件的时候,像完成整个阵列 128 个晶片这样的一次扫描,每 1 秒钟就可以完成几百次。每个独立的晶片都可以被控制,在检测材料很小的一块区域内可以产生非常细节的图像。

复合材料检测通常使用喷水检测方法,一个探头发射出来的声束通过喷出的水柱,被另外一侧的第二个探头接收。在扫描时,两侧的水柱角度必须是精确控制的,并保持同轴,否则就会丢失超声信号。这就对机械控制系统提出了非常严格的要求,尤其是在检测双曲面零件时,此时如果想提高产能将是非常困难的。但对于 USL 系统,即使扫描复杂曲面的零件,扫描速度依然可以很快,而且不会降低检测质量。

在军用和商用飞机中使用的复合材料零件通常形状非常复杂,超声检测系统需要集成多个机械运动轴,以扫描这些复杂形状的零件。典型的系统将有 10~12 个轴,这些轴同时联动,以便跟踪零件轮廓。USL 系统具有 2 种不同的结构:一个是水平操作臂结构,而另一个是垂直操作臂结构。如何选择,取决于客户的意愿和需要检测零件的范围。有些时候喷水和浸水两种方法都需要,在这种情况下垂直操作臂结构更加适合。

总体来说,复合材料的多曲面跟踪检测要比水浸检测系统复杂得多,世界上大部分的制造商都是从水浸做起,但真正能够实现 10~12 轴扫描的多曲面跟踪检测系统的厂家并不

多,而 USL 公司在制造该类型系统方面已经有近 20 年的经验,该类型系统数量也有 10 多套,积累了丰富的经验。

CATIA 模型

对于水浸和喷水检测系统,主要的潜在瓶颈就是如何对复杂形状零件进行编程,而通过直接从 CATIA (计算机辅助三维设计系统) 中获取复杂形状零件的轮廓,可解决零件编程问题。

但不足的是, CATIA 模型,特别是复合材料零件的模型,并不总是与待检测零件的真实形状相符。部分是因为零件从工装上取下的时候,零件会发生塑性回弹,还因为这些零件并不是自支撑的,而是通过 2 点或 3 点支撑的,这样就会出现下垂和扭曲等变形。这样在检测设备上的零件就与 CATIA 模型之间产生了微小的不同。

虽然这样的不同不是很大,但足以影响超声系统在检测复杂形状零件时的效果。USL 开发出了一种自动测量零件位置和真实形状的软件程序,在扫描之前使用。它将在三维方向上调整扫描轮廓,并重新计算联动的最多 12 根轴的位置,这样各轴跟踪的就是真实的零件轮廓,而不是理论的轮廓。该过程避免了重复扫描过程,因为在通常情况下只有扫描全部结束后才会显示出实际轮廓与理论轮廓是否一致。

另外,还需要设备使用超高规格的超声设备,具有高的信噪比和极好的抵抗外界噪声的能力。但这还不足以保证小缺陷的 100% 检测。所有这些促使 USL 开发集成了许多特殊功能的系统,以满足检测的要求,这些系统已经在世界范围内得到广泛地应用。

声束的控制

在任何超声检测中,都需要严格

控制声束与零件表面的角度。如果待检测的材料是完全平直的,情况就要简单得多,但实际检测中这样的情况很少。实际零件表面的轮廓是变化的,并可能是随机和不可预测的。

为了实现板材检测的高产能,需要使用多探头组,并配备多路复用器。典型的是配 7 和 15 个长方形探头,交错排列,覆盖 80mm 和 150mm 的宽度。由于材料是在水浸箱中进行检测的,所有探头在查找缺陷的同时,还测量板材的表面位置。测量出的板材表面到探头表面的距离,即水程,可显示探头与表面的中间的角度。并用该数据实时对探头操作器进行调整,这样检测的角度就保持在正确的数值上(通常是 90°)。这样就可以确保探头垂直板材表面,并对其进行可靠的检测。

在扫描结束后,在 C 扫描图上会标明可能的缺陷。扫描装置自动移动到每个缺陷位置,操作者对其进行确认,判断是一个缺陷还是表面上的标签或是气泡。由于长方形探头的设计是用于查找缺陷的,但不能精确确定缺陷尺寸,所以在此使用一个圆形聚焦探头对缺陷进行评定。在有些情况下还使用前面提到的相控阵扫描,但还是多探头组扫描的产能更高。

在设计零件时,无损检测通常是最后被考虑的事情,所以就会使问题变得更复杂。现在的许多高级组焊方法,如扩散焊、摩擦焊、摩擦搅拌焊越来越多地用于日常生产中,并生产出非常复杂的金属零件,就需要特别形式的无损检测。这就对检测设备制造商和无损检测实际操作者提出了新的要求。同样,对于航空复合材料来说,由于越来越多地使用树脂转移模成型工艺,也出现了同样的问题。这些问题都需要解决,而且不能引起制造过程的瓶颈和后续问题,所以就需要不断地对仪器、机械和软件进行创新。 (责编 依然)