

使用 inspeXio SMX-100CT 观察 GFRP
的实例

摘要：本文介绍了一个运用 inspeXio SMX-100CT 观察玻璃纤维增强塑料（GFRP）的实例。先对 GFRP 样品进行透视观察，可看到样品里面重叠的纤维。再对 GFRP 样品进行 CT 扫描，可以从体积上观察 GFRP 样品中纤维的取向。并运用 ExFactAnalysis 纤维分析软件，从而量化和评估 GFRP 样品中纤维的取向。

关键词：微焦点 X 射线 CT 系统 CT FRP GFRP

纤维增强塑料（FRP）是由玻璃纤维或其他混入材料以增加强度的纤维组成的复合材料。使用玻璃纤维的复合材料成为玻璃纤维增强塑料（GFRP）。

GFRP 广泛用于交通运输机械相关领域的摩托车、汽车和其他产品，以及房屋设备和机器。注射成型是利用 GFRP 制造零件的方法之一。通过注射成型，内部纤维的取向根据树脂的流动而变化。该纤维取向与材料的机械性能以及翘曲等其他成

型缺陷的发生之间存在关系。因此，观察内部纤维的取向变得非常重要。为了方便观察纤维取向，通常将样品切割后观察或照相。但是使用这种方法，评估需要花费时间和精力。并且难以准确评估三维结构。

本文介绍了使用 inspeXio SMX-100CT X 射线 CT 系统拍摄的 GFRP 样品的 CT 图像，以及使用纤维取向分析软件对 CT 数据的分析结构。

■ 实验部分

1.1 仪器

inspeXio SMX-100CT

1.2 分析条件

X 射线 CT 检查分析条件：

测试电压：70KV

测试电流：40 μ A

图像尺寸：1024pixels*1024pixels

扫描时间：10min

SDD：500mm

SRD：5mm

Number of Views：1200

Number of Averages：2

Voxel Spacing：0.006mm/voxel

Scale angle：Full scale

Acquisition Mode：Fine



■ 结果与讨论

2.1 微焦点 X 射线 CT 对 GFRP 的观察

图 2 和图 3 显示了使用 inspeXio SMX-100CT 微焦点 X 射线 CT 系统拍摄的 GFRP 样品（图 1）的图像结果。GFRP 样品是通过切除哑铃型样品的细长部分而制成的。图 2 示出了整个切下的样品片段的 X 光透视图 (a)，以及中央部分的放大 X 光透视图 (b)。在整个样品的图像中，可以观察到玻璃纤维，但是纤维部分图像是很模糊的。对样品进一步放大，就可以一一对应区分混合到其中的单个玻璃纤维塑料。但是在透视图像中，不幸的是纤维方向都是所有厚度重叠的方向，因此纤维方向性不能准确观察。该样品 GFRP 的 CT 图像结果如下所述。

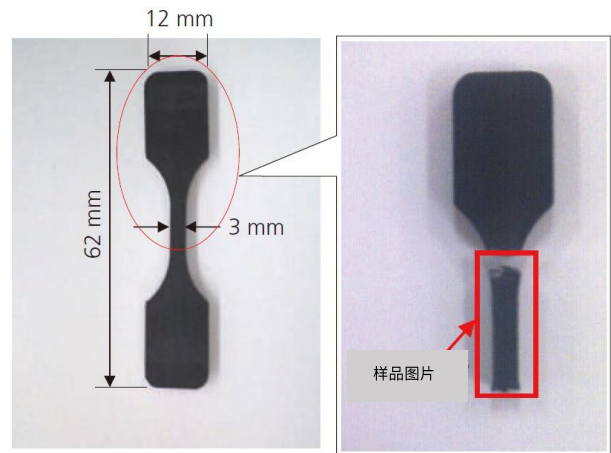


图 1 GFRP 外观图

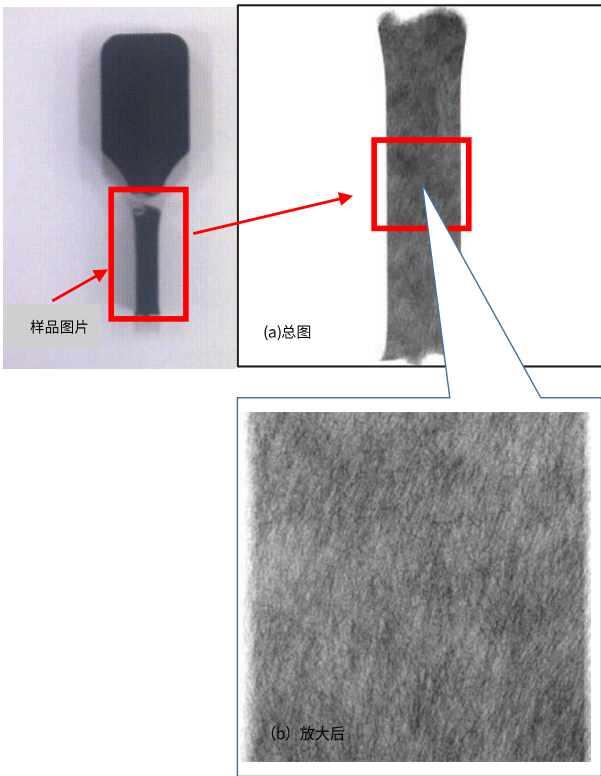


图2 GFRP 透视图

图3显示了MPR（多平面重建）图像。在MPR显示图中，将多个CT图像堆叠在一个虚拟空间中，从而排列四张图像：CT图像（1）；相互正交的纵向图像（2）和（3）；以及与纵向截面图像（4）正交的任意截面图像。

从图3的图像（1）至（4）中，可以观察到纤维在三个直角相交的方向截面图中的取向。

图4显示了从表面附近到中心的GFRP样品的连续纵向截面。可以确认的是，表面附近和中央部分的方向发生了变化。

图5示出了该CT成像数据的三维显示。当转换为三维显示时，可以对玻璃纤维进行体积观察。

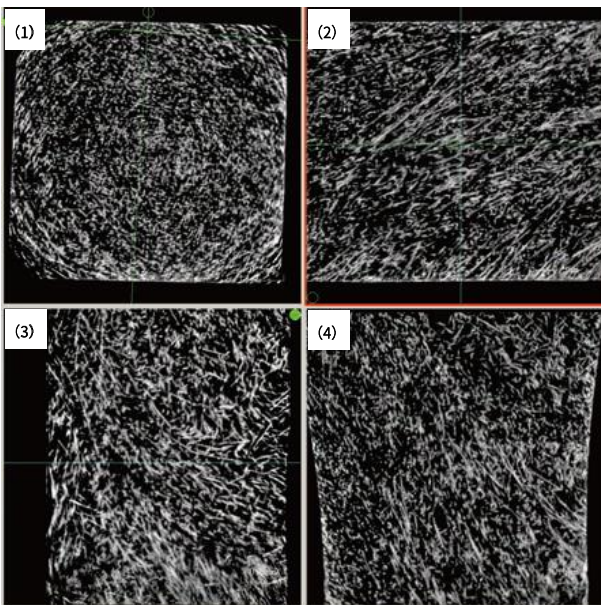


图3 GFRP MPR图

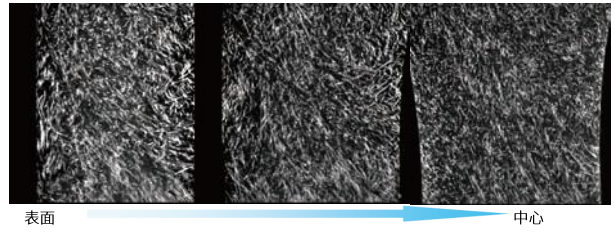


图4 GFRP CT图

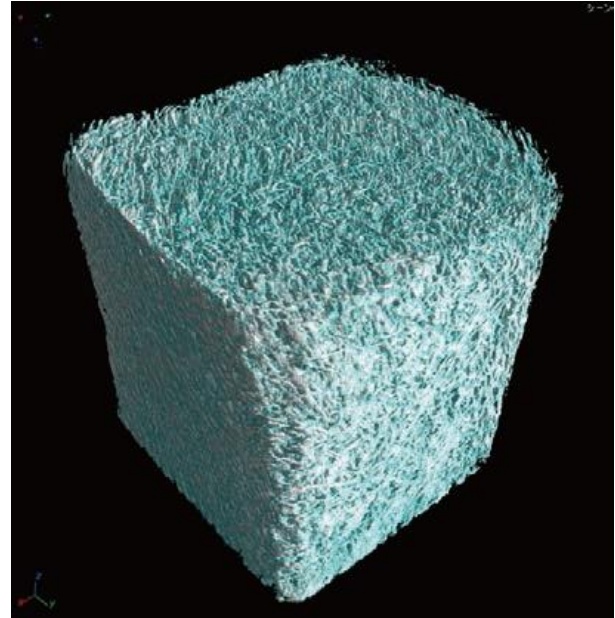


图5 GFRP 3D图

接下来，图6和图7示出了将GFRP样品的中央部分的图像放大的结果。可以检查低倍率图像中无法检查的单个纤维。

通过执行CT成像并在任意横截面中二维观察结果，以及创建三维显示，可以直观地研究纤维如何定向。但是，需要某种数值指标才能将结果与其他样品进行比较，并从三维角度评估纤维的状态和分布。

因此，我们接下来介绍一种从CT数据三维图像分析和评估纤维取向的方法。

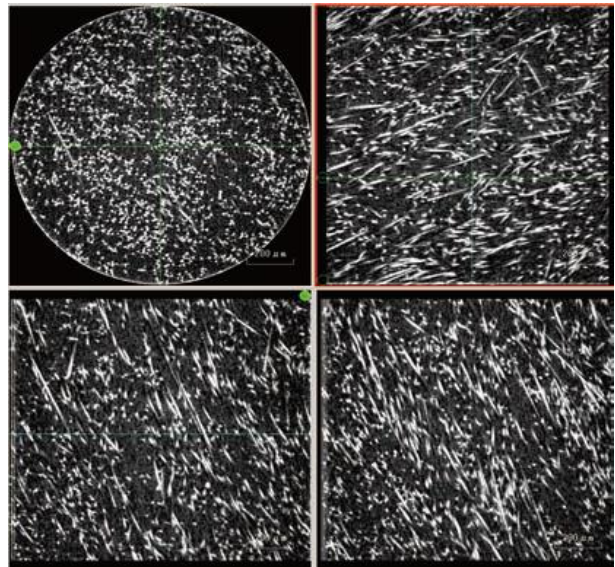


图6 GFRP MPR图（放大后）

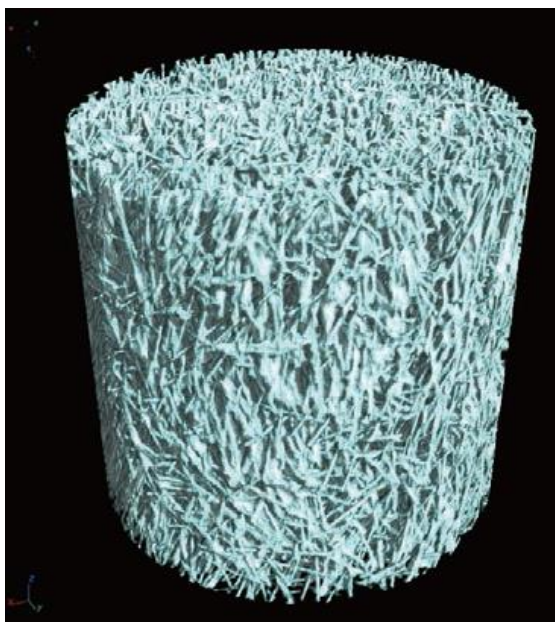


图7 GFRP 3D图 (放大后)

2.2 GFRP 样品数据分析

迄今为止，已经有两种方法来分析和评估纤维的取向。在直接法中，在显微镜下观察从模压件中取出的薄样品，测量单根纤维的取向角度，并将该数据用于计算主要取向方向和取向度。

在间接法中，测量从成型部件沿各个方向切下的小切片的机械性能，并将结果用于估计取向角度。但是，采用直接方法时，必须一个接一个地切割样品，这是非常费力的。对于间接方法，必须在将样品切成小块之前对取向方向进行假设，如果无法做出这样的假设，则精度成为问题。

相反，如果使用 inspeXio SMX-100CT，则可于从约 10 帧的图像中获取数据，以详细的显示各个纤维的排列方式。从三维角度看，如图 6 和图 7 所示。在此阶段，完全可以直接使用与直接法中的微观观测数据等效的结果。

在观察纤维取向时，使用了 ExFactAnalysis 纤维分析软件 (Nihon Visual Science, Inc.) 分析。该软件可以从多种角度对多孔样品、颗粒、纤维和其他具有复杂三维结构的样品的形状和分布进行统计评估 / 分析。首先，对图 8 (a) 的三维数据中的纤维进行细化处理。然后根据其形状和分布计算出各种统计参数 (图 8 (b))。

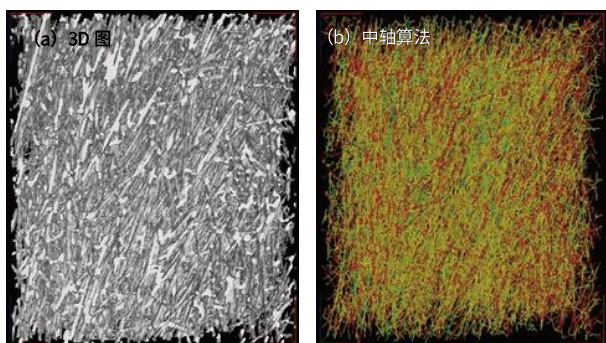


图8 GFRP 样品分析

由 ExfactAnalysis 纤维分析软件计算得出的纤维数据如下所示：

- 纤维含量：20.06%
- 检测到的纤维数量：11950
- 平均纤维直径：7.97 μ m
- 纤维交叉点：33469 点

此外，“纤维相交”是指纤维相交的点数。纤维交叉点的数量越少，纤维在同一方向上的取向就越多，表明它们排列整齐。

接下来，将三维数据分成 27 个元素矩阵 (3x3x3)，并使用矢量评估每个单元中的平均方向。在此，每个向量表示以下内容：

- 长度：纤维取向强度
- 颜色：纤维数量
- 方向：平均纤维方向

图 10 (b) 一起显示了矢量和观察到的纤维，以说明纤维方向和矢量方向一致。得益于这些矢量的分析数据，不仅可以评估 GFRP 样品各部分的取向，而且还可以与从注塑成型仿真软件获得的结果进行比较评估。

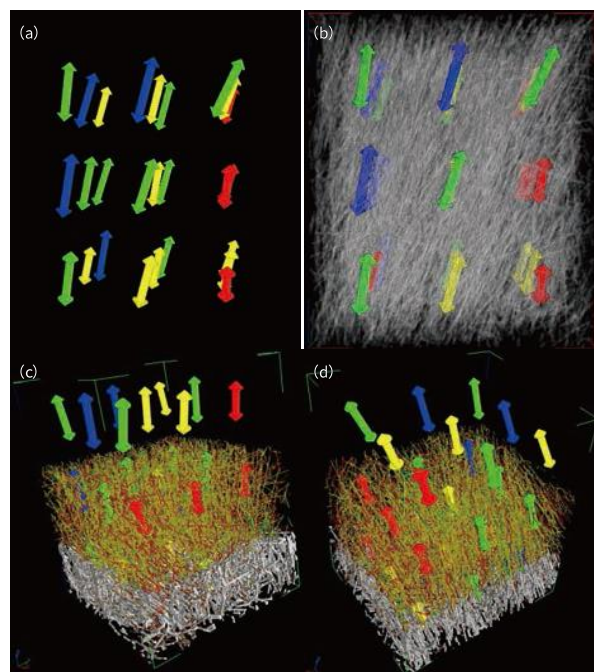


图9 GFRP 样品分析

- (a) 通过矢量直观显示纤维方向
- (b) 矢量和三维显示的叠加
- (c) 三维显示 / 细化显示 / 矢量显示
- (d) 三维显示 / 细化显示 / 矢量显示

结论

采用岛津公司的 inspeXio SMX-100CT 检查分析 GFRP，不仅可以从体积上观察 GFRP 样品中纤维的取向，而且还可以利用 ExFactAnalysis 纤维分析软件来量化和评估纤维的取向。

——内容翻译自岛津 GADC 编号 LAAN-A-ND-E010

岛津应用云

