



## Topic Insights

## 工业 4.0 复合材料 3D 打印方法

Bronwyn Fox, Aleksander Subic

Swinburne Research, Swinburne University of Technology, Hawthorn, VIC 3122, Australia

碳纤维复合材料是一种轻质、高强度的工程材料，其强度比钢铁高10倍，比铝高8倍，而重量只是这些材料的一小部分。在过去10年中，复合材料制造业已成为澳大利亚的一个增长领域，并带来了新的出口市场。但是，为了保持这种领先优势和势头，要克服的关键挑战是提高生产率和降低生产成本，而这只能通过利用自动化和数字化来减少缓慢和劳动密集型手工过程来实现。

目前已有两种方法可以对这些材料进行三维（3D）打印。第一种方法仅适用于小样本。它涉及用少量纤维束加强聚合物3D印刷结构，产生主要与基础聚合物相同的性能。第二种方法是将短的（小于5 mm）短切原丝碳纤维分散到聚合物基质中，该基质可以3D打印成更大的结构。然而，短纤维低于将纤维性质赋予基质的临界长度。在这里，我们报道第三种方法，该方法采用多头自动纤维/胶带铺设技术，能够制造具有与传统制造复合材料相同机械性能的大型结构，这种方法有利于生产过程中的数字化，从设计到制造过程控制，从自我修正到监控智能复合结构的运行性能。该设施是国家网络中的6个澳大利亚工业4.0测试实验室之一，该网络的建立如最近的报告[1]所述。

在典型的生产线中，产品变更或修改需要大量的生产线修改和人工干预。因此，为了使这种产品变化有利可图，需要新产品的最小批量。相比之下，在工业4.0的愿景中，智能工厂允许个人用户需求，甚至一次性产品的盈利性。这样的工厂很容易代表客户和供应商对最

后的更改做出响应。因此，拟议生产线的主要目的之一就是使其能够以最少或者无需人工干预的方式生产不同的产品。这种方法将得益于对工艺-结构-性能-使役性能（PSPP）关系的深入理解——这是本期增材制造专题中由Qi等提出的一个挑战，该挑战通过神经网络算法的应用，在解决问题方面取得了重大进展。

在工业4.0的制造环境愿景中，智能机器、存储系统和生产设施自主地交换信息，触发作用和协调任务[2]。因此，在拟议生产线不同阶段的机器之间进行这种联网已经付出了巨大的努力。Swinburne的测试实验室将使用包括Mindsphere在内的西门子产品生命管理软件平台，使各种制造商的设备能够相互通信。多余的传感器将使生产线的每个阶段能够收集大量的过程数据。这些信息将存储在安全的本地云中，并将立即用于将生产数据前馈和反馈给生产线中的其他机器，从而实现自适应生产过程。

图1所示的拟议生产线设计用于在制造过程的每个阶段后进行产品检验。检查数据也将存储在本地云中。对存储在云中的大数据集的分析可以导致在成品状态和制造过程的不同阶段的参数之间发现新的和意外的相关性，这反过来可以用于优化产品。Gan等在论文中应用了这种方法。在这篇文章中，他们利用自组织图来可视化来自增材制造过程的大型数据集。数据分析中的这些信息将有助于机器间的通信，并将3D打印方法纳入碳纤维零件制造中，即所谓的Fill多层工艺。这是世界上第一个高速3D打印工艺，它将通过提高生产率、降低

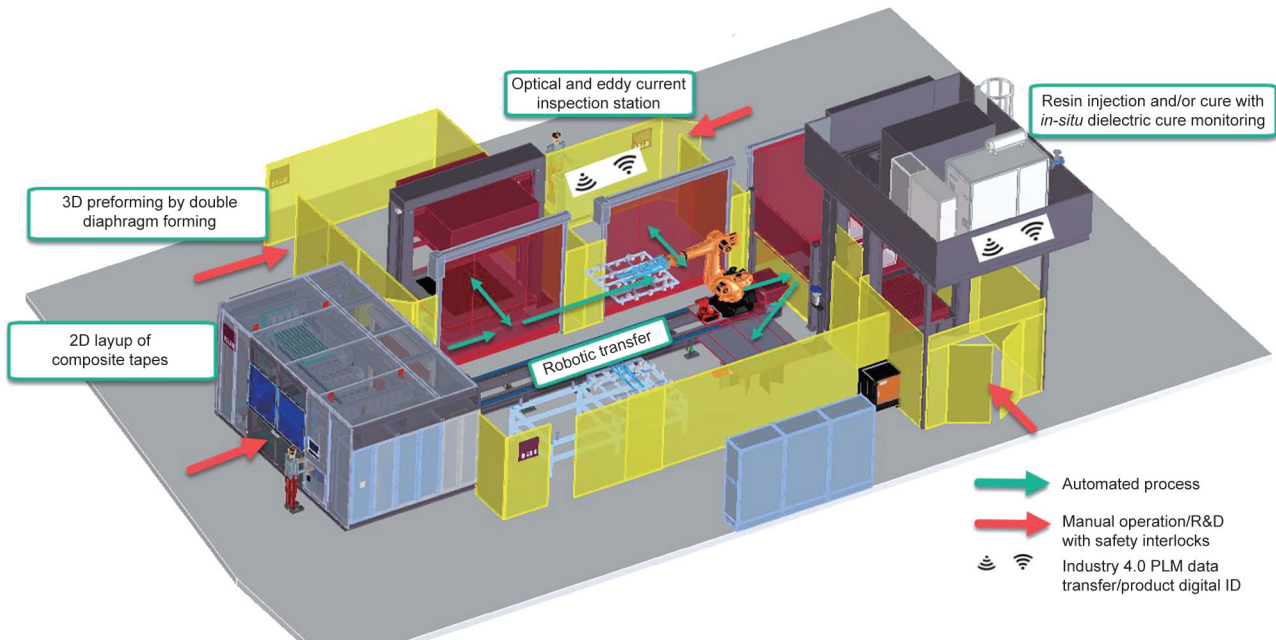


图1. Swinburne工业4.0测试实验室的概念，它将展示一个试点规模的网络物理生产系统。

成本和减少浪费，同时提高设计和工艺灵活性，彻底改变复合材料的设计和制造。这样，就可以大规模定制这些材料制成的产品。

工业4.0复合材料生产线不能作为现成的解决方案购买，因为一些组件或概念尚未商业化。因此，Swinburne开发了供应商和最终用户网络，为设施的设计和开发提供信息。该网络包括全球原始设备制造商（OEM）和一级供应商，以及整合到供应链中的澳大利亚中小企业（SME）。测试实验室将数字化整合3个关键组成部分：①Fill多层工艺；②熔敷纤维的预成型，以及③树脂的注入和固化。中心部件将是Fill多层工艺（图2），这是一种独特的光纤3D打印方法，完全数字化控制，能够每15 s沉积一层（在 $1.6\text{ m} \times 1.6\text{ m}$ 的工具上）。该工艺实现了前所未有的生产率、设计灵活性和纤维取向控制。为了最大限度地发挥该工艺设计灵活性的潜力，我方与斯图加特大学ARENA2036的合作将探索使用新的数字设计技术优化纤维取向和零件几何形状，重点是制造设计。

Fill公司成立于1966年，目前拥有约800名员工，是为各种工业领域设计和供应自动化解决方案、机械和设备的全球领导者，位于奥地利古尔滕。新推出的多层系统能够在汽车工业所需的极短周期内生产近净形状的纤维叠层。这一概念在零件设计和最大限度节省材料方面具有很高的灵活性。该工艺接受从线轴输入的材料，并有潜力利用碳纤维增强热塑性胶带、低黏预浸系统和碳

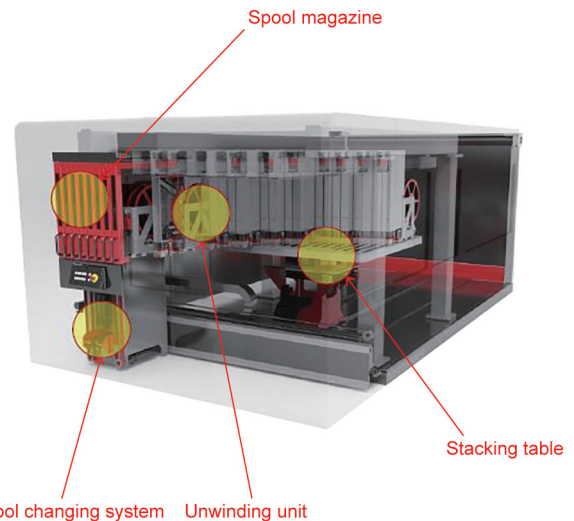


图2. Fill公司（奥地利）开发的直接纤维沉积工艺示意图，显示了自动换芯系统、开卷装置、堆叠台等关键特性。

纤维束。它能够以高度受控的方式每隔15 s将一层光纤沉积到可旋转的堆叠台上，这意味着可以定制零件并以受控且有效的方式形成3D部件。世界上第一台多层机器将由Fill公司提供，其原型于2019年3月在巴黎的JEC世界贸易展上推出。

包括了Fill多层工艺的测试实验室设计为多功能和可扩展的，以使用户在开发时测试和实施新概念。

在联邦政府的支持下，澳大利亚正在建立工业4.0测试实验室的全国网络。每个测试实验室将专注于一个不同的产品，涉及一个独特的网络物理系统。用于复合

材料3D打印的Swinburne工业4.0测试实验室将采用世界首创的增材制造方法制造这些轻质工程材料。结果将展示试点制造过程的数字化转型，同时促进研发。它将展示澳大利亚工业4.0的愿景，并与德国基础工业4.0和美国工业互联网联盟的国际先驱者展开合作。Swinburne已与德国（斯图加特大学和温加顿大学的Arena 2036）、奥地利（Fill）和以色列（Plataine）的全球经济体以及澳大利亚公司（Quickstep、Sensadata）建立了伙伴关系，

以承担工业4.0平台能力开发。这包括基础研究和快速原型设计，从而使新技术商业化。

## References

- [1] Gallagher S. Industry 4.0 Testlabs in Australia preparing for the future, a report of the Prime Minister's Industry 4.0 Taskforce—Industry 4.0 Testlabs Workstream. In: Subic A, editor. Hawthorn: Swinburne Research 2017.
- [2] Schwab K. The fourth industrial revolution. New York: Penguin Books Ltd; 2017.