



增材制造螺旋桨的成功打印和验证标志着大型部件维修和制造的未来发展趋势

假设您是一名船长，掌管一艘 5 万吨级的集装箱轮船，您的航程安排得很满，但船上价值 10 万欧元的青铜螺旋桨在夜间被海洋垃圾给破坏了。船停泊在欧洲最大的海港鹿特丹，您心里在细细盘算着：拆除水下螺旋桨，需要花费 35 万欧元以上；运送给原始制造商进行维修，需要一万欧元以上；螺旋桨的维修工作，加上从西雅图将备用螺旋桨运到鹿特丹，这又得数千欧元；再加上船 20 多天或更长时间无所事事地停靠在港口的空载成本。您是否应该马上给货运代理打电话？

不必担心，因为 RAMLAB 就在这里。Rotterdam Additive Manufacturing Laboratory 将可为您打印出一个全新的螺旋桨，这毫不夸张。RAMLAB 创建于 2016 年，他们于 2017 年末使用电弧增材制造技术 (WAAM, Wire Arc Additive Manufacturing) 制造出了世界第一个得到船级社认证的螺旋桨。WAAM 是一种高效金属沉积工艺，每小时可沉积 1 至 6 公斤金属。

这个 100% 通过打印制造的螺旋桨，被称为 WAAMPeller。正与 RAMLAB 密切合作的 Autodesk 高级技术顾问 Kelvin Hamilton 说：“WAAM 工艺使用圆柱轴作为在其上沉积锥体的起始基座。”准备好锥形轮毂后，将逐焊道、逐层地堆积叶片，直至形成完整的螺旋桨。“这是一个全新建构的零件，它以起始基座为基础并在其上增添特征来产生全新部件。” Kelvin 补充道。

相反，如果是进行修复，工程师则必须拆除零件的损坏部分，创建刀具路径，打印新的零件，然后进行精加工 - 磨削或铣削 - 以完成修复。Kelvin 补充说：“对商用船舶来说，这通常使用手工或机器人磨削，然后进行人工抛光。” RAMLAB 及其合作伙伴的目标则是在可行的情况下，尽量使这两个工作流自动化。

WAAMPeller 产品的成功开发、生产、测试并得到全球船舶检验和认证组织 - Bureau Veritas 对 WAAMPeller 产品的认证，见证了 RAMLAB 联盟的初步成功。

那么打印一个螺旋桨需要多长时间？打印时间取决于材料、零件大小和其他一些因素，如打印机的数量。这种工艺是否可以扩展，从而生产出一系列螺旋桨？对于单个机器人来说，打印多个螺旋桨的吞吐时间会非常缓慢，不可行。Kelvin 说，如果由多台机器同时打印，则有可能提高生产力。一个典型的像 WAAMPeller 一样的“小型”商用螺旋桨，质量在 180 至 200 公斤之间，需要 200 个小时 - 约一周半时间打印，而这不包括精加工时间。他补充说：“这是我们第一次尝试这样做，所以有很大的空间来改进工艺，提高生产力。”“我们可以在两周内制造一个或两个螺旋桨。”



如果有 10 件以上的螺旋桨，那么使用铸造方法会更好，但这可能需要 4 到 6 个月才能收到新的螺旋桨。与此计算相对应的是商船滞留在港口等待备件的巨大成本。

RAMLAB 也是本地化小规模生产概念的示范者。为了避免这种商船空载停靠成本，我们可以在里约热内卢和东京、汉堡或悉尼设立其他一些 RAMLAB 机构。另一种选择则是使用供应链，也就是在一些战略地点的仓库中，堆满数百种可能永远都不会使用的备用螺旋桨。显然，按需打印昂贵零件的方式要好得多，这也是 RAMLAB 的终极商业计划。

目前，RAMLAB 是一个研发中心，致力于为这项工作开发最好的制造工艺和专项技术。RAMLAB 总经理 Vincent Wegener 表示，“我们正处于完善电弧增材技术的阶段。我们的长期目标是按需制造和维修这些零件。”

这种打印技术不仅限于螺旋桨的打印制造。RAMLAB 正在致力于涉及与海上和海洋工业相关的各种部件的项目，如方向舵、支柱和起重设备。Wegener 还指出了 WAAM 技术的另一个优势，就是它可以生产空心零件。6 月初，RAMLAB 宣布与荷兰海上工程公司 Huisman 合作，利用 WAAM 技术制造一种大型空心海上起重机吊钩。Huisman 设计的四爪式吊钩将可显著节省材料使用量，缩短生产周期。

用于螺旋桨的材料是镍铝青铜合金，但用于焊接的任何金属线材都可用于 WAAM，而且它不仅限于海洋应用。Wegener 说：“航空航天和建筑业对 RAMLAB 的服务也越来越感兴趣。事实上，RAMLAB 的服务适用于任何制造大型昂贵零件的行业。”

检测在 RAMLAB 中的重要作用

打印的螺旋桨必须保持其形状，这对于叶片几何形状精确设计以将旋转运动的最佳比例转换为向前推力的部件至关重要。在测量增材制造零件方面拥有丰富经验的专业计量解决方案公司 FARO 对此施以援手。他们使用 FARO ScanArm 精确扫描螺旋桨，以确定在焊接或“打印”过程中是否发生任何变形。这项扫描技术被称为“蓝色激光”扫描，其优势在于它可以在光亮的表面上无接触地测量基座，负责扫描螺旋桨的 FARO 比荷卢地区和斯堪的纳维亚地区销售工程师 Bart Rook 解释说。

ScanArm 几乎可以测量任何表面，包括抛光表面，精度为 50 至 60 微米，这比此螺旋桨应用所需的公差还高。此螺旋桨应用所需公差为 0.5 毫米左右。扫描在构建过程的不同阶段执行，但主要是在后期抛光阶段，而大多数扫描最多只需 20 分钟。Rook 也将 FARO ScanArm 用于小型表面。他说，这个系统与竞争对手的系统相比，其优势是在扫描时可以结合硬式测头进行校准。Bart 说：“我们在机器上首先做一个比扫描更精确的接触式测头校准，并将其作为基准参考，之后我们就能够以这个为基准，使用 ScanArm 来扫描叶片。”

Faro ScanArm 编译的测量数据将导出到 Autodesk 的三维测量和计量软件 PowerInspect。使用 PowerInspect，将扫描数据与预期的三维 CAD 几何图形进行比较，可查看新加工的零件是否符合设计意图。总的来说，扫描显示出竣工零件和 CAD 模型之间非常一致，它也指出了可以改进沉积工艺的区域。

RAMLAB 面临的业务风险包括与 Autodesk、Damen Shipyards、海洋技术专业机构 Promarin、焊接合作伙伴 Valk Welding 和 Lincoln Electric

等建立全面的合作伙伴关系，管理他们的投入，实现他们的预期。RAMLAB 必须深入了解在预制加工如此大的零件时材料性能将如何变化，长时间焊接后结构可靠性如何，以及从 Bureau Veritas 和其他行业认证机构获得等级认证的挑战等。Wegener 苦笑着说：“主要的挑战是以前从未做过这件事。”

鹿特丹港是 RAMLAB 的主要投资者，并且从项目中获益最多。每个月都有数百艘船舶通过这个港口，其中一些船舶需要进行十分紧急的维修，而当地并没有快速的解决方法。RAMLAB 合作伙伴以实物捐助或免费人员参与方式提供了大部分硬件、软件和工程咨询，这为企业提供了更大的市场曝光率，并从合作伙伴那里获得更多反馈。Wegener 表示，RAMLAB 将继续推动 WAAM 技术，我们正在探寻 WAAM 技术在新的、更广泛领域的应用，包括航空航天领域。“我们还不能做到按需打印 [所有适用的] 零件，但这无疑是我们的最终目标。”

Web 引用 (英文)

RAMLAB
<http://bit.ly/2RW0uri>

世界第一台 3D 打印船用螺旋桨
<http://bit.ly/2J5KVJC>

新案例研究
<http://bit.ly/2Ck7EA9>