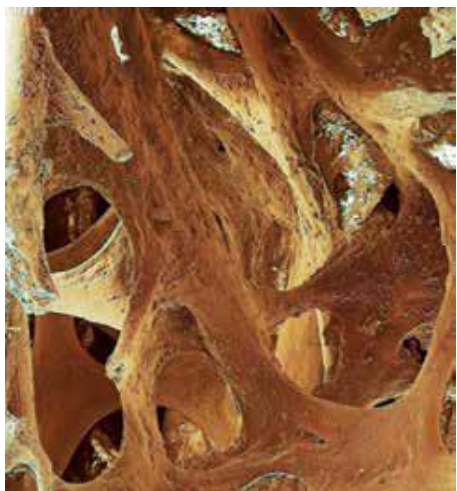


拓扑优化与激光增材制造的完美结合

挖掘轻量化结构的新潜力



主要看点

行业

增材制造

挑战

如何利用开发设计和优化方法，从而改进采用激光增材制造方法生产的部件。

Altair 解决方案

HyperWorks、OptiStruct 和仿真驱动设计流程。

优点

- 提高材料利用效率
- 使结构更轻、更坚固
- 所需的用户培训更少
- 制造流程灵活、可进行调整



项目介绍

许多技术创新都基于自然界中生物结构的设计。通过不断进化，大自然在数百万年间已学会根据各种形状的功能对形状进行调整，从而最大程度地提高效率。当工程师设法构建坚固而轻盈的结构时，这些自然界中的示例可以提供重要线索。在目前的研究项目中，Laser Zentrum Nord (LZN) 和汉堡-哈尔堡工业大学 (TUHH) 正着手研究如何将创新型设计方法与激光增材制造相结合，并利用生物示例，挖掘轻量化结构的新潜力。

骨骼等自然结构展示出了极高的材料效率。然而，生产类似结构对于制造企业而言则是一大挑战。在寻找新方法来实现在轻量化策略的研究过程中，新的制造方法开始发挥作用。激光增材制造（即选择性激光熔融）特别适合生产极其复杂的几何结构，它采用激光一层层地扫描堆积的金属粉末，使金属粉末选择性地熔化。这种方法不但适用于生产单个样机，而且还适用于生产在航空和汽车行业用作支撑结构的高承重金属部件。此类部件在各自应用领域已证明了自身的价值。

LZN 成立于 2009 年，致力于将知识和技术由基础研究转化为工业应用。LZN 与汉堡-哈尔堡工业大学 (TUHH) 激光与系统技术研究所 (iLAS) 建立了密切的合作关系。

挑战

TiLight 研究项目旨在研究如何将创新型设计方法与新的制造能力相结合，从而利用 TiAl6V4 这种高强度钛合金材料以更经济的方式制造出轻量化部件。该项研究为 LZN 与 iLAS 合作开展的项目，并由 BMBF（德国联邦教育与研究部）提供资金支持。该项目除对 TiAl6V4 材料进行增材制造外，还对仿生学等新型设计方案进行了分析、归类并将其纳入指导准则和数据库，从而帮助用户充分挖掘轻量化的潜力。

“LZN 之所以选择 Altair 和他们的产品主要有两方面原因：Altair 的工具，如 OptiStruct，在 TUHH 已得到广泛应用。而且，当我们和过去曾与 Altair 合作过的其他大学接触后，他们都表示对双方的合作感到十分满意。因此，我们也决定与 Altair 开展合作。HyperWorks 的优势在于，这款套件囊括了项目所需的所有软件工具，我们无需在不同的工具之间进行切换即可完成整个虚拟流程。”

Jannis Kranz
LZN 副研究员

解决方案

该研究项目最开始的主攻方向是航空业。在航空领域，更轻便的部件迅速展现出了优势，而该行业也因乐于尝试新型设计方案而著称。降低质量有助于提高飞行器的载重能力或延长飞行器航程。在空间技术领域，每增加 1 千克负荷将使火箭和燃料重量额外增加 30 至 100 千克，这意味着采用轻量化结构可实现大幅节省。对于汽车等其他行业，由于他们一直尝试寻找降低质量并提高车辆燃油效率的方法，因此对新型轻量化方案呈现出越来越浓厚的兴趣。

在 TiLight 项目中，选择在飞行器中用作标准固定零件的支架作为试验对象。民航飞机中使用多达 30000 个支架单元来固定驾驶舱内部系统和驾驶舱其他部件。该研究项目取得的成果使创新型轻量化结构取代了传统支架，大大减轻了飞行器重量。

LZN 副研究员 Jannis Kranz 深入研究了支架部件能够付诸生产的设计以及后续的轻量化结构的激光增材制造。考虑到 TiAl6V4 材料的特点，为激光增材方法开发出了定制的流程链，使用 Altair 的优化工具 OptiStruct 创建出基本的优化结构。将这些自动创建的结构与自然界中的生物示例进行对比并进行相应调整，然后再对最终的几何结构进行最后的数值验证。OptiStruct 等优化工具非常适合此类项目，尤其是在开发全新的设计方案时更是如此。由于所得的几何结构通常十分复杂，因此，非常适合采用激光增材制造等限制较少的生产方法进行生产。

航空业供应商 Premium Aerotec (PAG) 担当了该项目的行业合作伙伴。再结合 LZN 现有的加工设备，该项目所需的多数设备可直接可用。此外，研究人员还进入了三家金属增材制造工厂 SLM、Concept 及 EOS，自行生产出了所设计的部件。

LZN 研究人员以支架样品为例，证明了适用于轻量化金属结构的全新设计和工程方案能够与激光增材制造完美结合。所生产的结构充分利用了设计自由度。由于设计自由，在开发过程中就可以以更加大胆的方式采用优化工具，并且几乎可以直接呈现结果，因为激光增材方法的制造限制较少。即使是复杂的结构也几乎不需要额外的制造工作，并且拓扑优化的结果可根据具体的应用场合很好地进行调整，使其与自然示例相符。作为主要研究成果之外的副产品，Kranz 还分析了仿生学等其他设计方案，对其进行了归类并创建了指导准则和数据库，旨在帮助未来的用户充分挖掘轻量化结构的潜力。

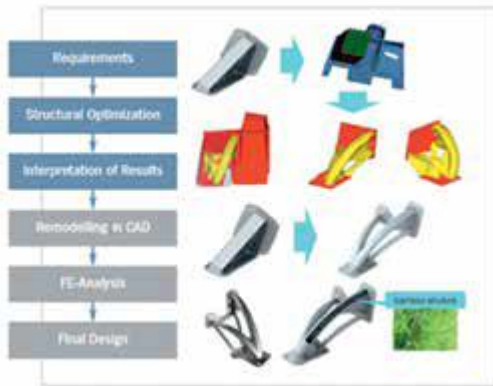
从 TiLight 项目一开始，LZN 就使用 Altair HyperWorks 作为主要工具。HyperWorks 是一种用于仿真驱动产品开发的领先设计解决方案，开发过程中，在部件概念设计阶段会采用 CAE 工具。这种解决方案提供了面向建模、分析、优化、可视化、报表及数据管理的集成解决方案。在仿真驱动设计过程中，首先采用 HyperWorks 套件优化工具 OptiStruct 基于可用设计空间、产生的负荷和其他边界条件执行优化。根据具体的应用场合，可先对其他参数进行研究并更改边界条件，再对结果进行解释，然后选出最适合激光增材制造的各种设计方案。此外，如果可行，所创建的设计方案可由生物示例进行补充。随后借助 CAD 工具对提出的设计进行改进，并采用 OptiStruct 对最终设计进行数值验证。



拓扑优化工程师能够构建更轻、载重效率更高的设计，仅在需要的位置应用材料。

“为了开发出采用轻量化设计的新型支架，我们在确定结构时首先进行了拓扑优化，”Jannis Kranz 解释道。“在确定了规格并定义了所需的连接点之后，优化后的几何结构即为基本机构，供后续步骤进行进一步调整。基于这些技术数据，我们找到了能够起到补充作用的生物示例。在流程的后续步骤中，只要在 CAD 中得出设计方案，我们会利用 Altair OptiStruct 等工具再次对结果进行验证。关于优化和计算，我们可以在 HyperWorks 中完成整个虚拟开发链。”

为了探索非传统的设计流程，在项目开始之初便采用了拓扑优化。虽然优化本身并不是激光增材制造的必要条件，但设计工程师在设计部件时会受到环境和经验的影响。这就是设计工程师主要面向铣削、铸造等传统制造流程进行设计的原因。如果在增材制造等新型流程中不考虑优化，则所得的几何结构将带有传统流程的鲜明特征，其中也包括它们的制造限制。然而，OptiStruct 给出了一种全新的形式，在增材制造流程中仅需稍作调整即可直接制造。



用于设计与优化采用增材制造方法生产的部件而全新开发的流程链
每一款新设计都从源自大自然的结构中获得灵感（生物模拟）

结论

“我们希望能够自由地进行思考与优化，不受任何限制，”Kranz 说道。“我们尽可能大胆地尝试实施仿真驱动设计流程。我们已能够脱离传统方案，实现全新方案。而这要归功于 OptiStruct 给予我们的帮助，这款工具帮助我们开辟了新的思路，使我们能够通过设计方法和制造流程充分挖掘轻量化的潜力。

激光增材制造采用激光逐层地扫描堆积的金属粉末，使金属粉末选择性地熔化。采用这种方式，可以对优质钢、工具钢、铝或钛合金等工艺金属进行加工。原始材料的机械属性将被保留。激光增材制造的显著优势在于，它在本质上是一种基于粉末的方法，这一方法能够重复利用高达 95% 的未用材料。相比之下，铣削等传统制造方法的材料浪费率则高达 98%。

该制造方法的另一大优势在于，这种方法制造的部件采用近净成形技术进行生产，通常无需后续的精加工步骤，但对精度及装配要求较高的结构通常仍需要传统的精加工步骤。

此外，激光增材制造能够在部件中实现功能集成，这不但有助于缩短生产和装配时间，而且还能提高经济效益。由于部件是逐层进行生产，因此也无需使用制模设备。它可以在单个制造流程中生产出形状迥异的多种部件。

TiLight 研究项目明确展示了将拓扑优化与激光增材制造相结合的可行性及其带来的优势。并且，由于开发了最佳实践流程链，这令对模型和几何结构设计进行优化成为可能。这些几何结构以自然结构为导向，有助于充分挖掘组合方法所带来的轻量化潜力。研究结果还表明，激光增材流程能够或多或少地减少对制造能力的限制，只有在使用优化工具和特别适用于该制造方法的开发流程时，才能充分发挥激光增材制造的优势。另一方面，理想优化结果带来的副作用，如几乎无法以传统制造方法进行生产的载荷特定的复杂结构，可借助激光增材制造方法进行弥补。

优化、生物结构的调整以及激光增材制造的相互结合，带来显著的经济和效率优势，尤其是在重量直接影响产品性能的航空等领域更是如此。

TiLight 的后续项目仍在进行，重点在于确定该项目的不足之处或其他未决问题。后续项目将进一步完善 TiLight 项目所开发的设计方法并对其制造限制加以研究。TiLight 项目的研究成果已经应用于工业领域，被众多不同的企业所应用。TUHH 的学生也正开始从 LZN 的研究中获益，iLAS 所长及 Laser Zentrum Nord (LZN) GmbH 首席执行官 Emmelmann 教授已在课堂和讲座中展示这些创新方案并进行探讨。

“我们希望学生认识到，如今我们已经拥有了可应用的新方案，”Kranz 说道，“而我们的研究成果正逐渐与工业项目相结合。我们将依靠我们的研究经验为工业客户提供支持，帮助将研究成果转化为日常的实际应用，”Jannis Kranz 总结道。



关于Altair公司

Altair公司是世界领先的工程设计技术的开发者之一，也是一家具有全球深厚工程技术底蕴的优秀CAE工程公司。Altair 公司拥有多元化的业务主线，其技术涵盖高端CAE仿真和优化技术、数据管理及流程自动化、高性能计算与网络计算技术，同时具备一流的产品设计、流程定制、二次开发等咨询服务能力。Altair目前为私人所有，总部设在美国底特律，在全球拥有2000多位员工，分支机构遍及美洲、欧洲及亚太地区。凭借其在产品设计、先进CAE工程软件开发和网格计算技术等方面拥有30年的经验，Altair不断为各个行业的客户创造竞争优势。

www.altair.com.cn



企业级CAE仿真平台

构建于设计优化、性能数据管理和流程自动化的基础理念之上，HyperWorks是一个企业级的仿真解决方案，用于加快企业设计开发和决策过程。作为业界最全面的开放构架的CAE解决方案，HyperWorks包括第一流的建模、分析、可视化和数据管理解决方案，适用于线性、非线性、结构优化、流固耦合和多刚体动力学等多个领域。

www.altairhyperworks.com.cn



产品创新咨询服务

Altair产品设计咨询团队(ProductDesign)是一个提供创新的、端对端解决方案的、全球性的多学科产品研发和工程咨询团队，向全球客户提供全面的工程咨询服务，其设计方案能够综合产品可用性、适用性、高性能、多需求、低成本等多个方面的因素。通过领先的研发流程和丰富的行业经验，帮助客户产品以更快的速度投向市场。

www.altairproductdesign.com



网格计算和资源管理平台

Altair PBS Works 帮助制造业、资源勘探、地球科学、天气预报、计算化学、制药、金融和娱乐行业的企业、学校和研究机构最大化其计算机软硬件资源的投资回报。PBS Works系统作为Altair HyperWorks家族中的成员，帮助制造业用户在实现大规模CAE仿真的同时按照需求有效地利用企业的计算资源，包括网格、集群和其他计算系统。

www.pbsworks.com.cn