

Manufacturing[®] ENGINEERING 中国

面向中国的先进机械加工技术

2023.3

增材制造
ADDITIVE MANUFACTURING
汽车制造
AUTOMOTIVE MANUFACTURING
测量
METROLOGY

售价: ¥ 10

ISSN 2313-6073

sme 

Fuse 1 + Fuse Sift

Formlabs 推出全新SLS高性能选择性激光烧结
3D打印技术解决方案



易于掌控的SLS设备

Fuse 1具备工业级SLS机器的打印质量却不占用太大的空间，简单紧凑的外观设计以及便捷的操作流程可在办公环境下实现原型设计的制作与生产



快速、简单的打印设置

通过Preform打印准备软件（免费使用）导入STL或OBJ格式三维模型文档，可实现模型自动化摆放与排列，估算打印时间与耗材消耗等诸多智能化功能



可靠、一致的打印作业

利用正在申请专利的Surface Armor技术（围绕部件表面打印的半烧结外壳），Fuse 1生产的部件拥有优秀的机械性能和极佳表面加工效果。尼龙11、尼龙12及后续开发中的材料，将充分满足专业用户最严苛的使用需求



助力SLS技术的普及

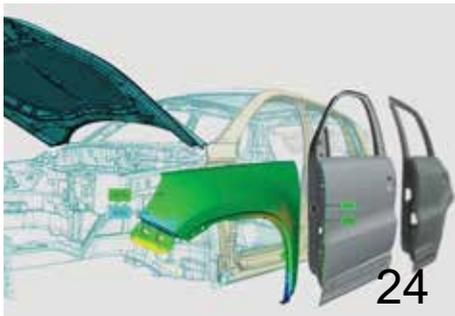
通过优秀的人机交互，直观的工作流程以及超高的性价比，助您开启SLS 3D打印之旅。Fuse 1出色的打印质量和工作流程效率丝毫不逊色于大型工业设备，灵活的硬件配置，使24/7不间断生产成为可能



2023.3



10



24



34

先进制造 Advanced Manufacturing Now

- 2 从微型特征中去除毛刺的几点意见
- 4 试试最新的螺旋加工

增材制造 Additive Manufacturing

- 6 增材制造：行业现状
- 10 LFAM打印机突破了物理极限
增材制造也在变得更加智能化。

汽车制造 Automotive Manufacturing

- 14 电动汽车已准备就绪
电力传动系统正在改变齿轮的设计和生產方式：
齿轮加工设备制造商正在应对这一挑战。
- 16 PLE在汽车设计中的商业案例
- 18 惊人的发展
有能力的供应商将使出行更顺畅、更安静。
- 19 用数字线程编织电动汽车的未来
- 20 通过CAD/CAM提高产出
FT Precision公司使用CAD/CAM软件增加发动机零件产量。
- 22 通用汽车借助AM技术来支持汽车生产
AM如何帮助通用汽车应对2022年全尺寸SUV车型的生产挑战。

测量 Metrology

- 24 计量软件与智能制造接轨
测量数字化是新兴智能工厂的一个重要元素。
关键是如何通过软件如何提供这些数据。
- 28 潜心研究测量学

加工中心 MachineTools

- 30 理想的界面
技术工人短缺的时代，使机床控制器更快、更强，
尤其是更友好已变得至关重要。

数字工厂 Digital Factory

- 35 装配中AR从概念性验证发展到黄金阶段
一个关键的驱动力是HoloLens 2，这是微软的第二代混合现实智能眼镜。
- 38 再见，黑匣子
设备操作员可以充分信任和验证带有物理信息的人工智能。
- 40 通过“测试机器的血液”来实现零停机
学习丰田北美公司在数据采集AI方面的经验。
- 44 先进的CAM提高了定向能沉积工艺的生产效率
定向能沉积法依赖于CAM和计算机。

生产解决方案 Shop Solutions

- 46 选择正确刀具的战略影响
- 48 自动化使火箭零件生产进入轨道

行业情报 Field Intelligence

- 50 OSB巨头公司确信数字主线的价值每次使用一个数据点，
使工作更安全、更健康
- 52 NASA利用SensePipe改善燃油管道

Manufacturing
ENGINEERING 中国

Industrial Communications Group Ltd.

魏斯礼 Bruno Wase-Bailey
董事总经理 Managing Director
www.ChinaEngineeringMedia.com
www.sme.org/mechina

艾康商务咨询(上海)有限公司
上海市静安区武定路555号8楼837室
电话 Tel: 021 3251-7225

订阅期刊 Subscription: subs@icgl.com.hk

广告业务 Advertising:

中国大陆 China: 021 3251-7225, bruno@icgl.com.hk
North America 北美: Dave O'Neil, 313 425-3260, doneil@sme.org

2022年版权所有 © Copyright 2022 Manufacturing Engineering. All rights reserved. Society of Manufacturing Engineers及Manufacturing Engineering授权Industrial Communications Group Ltd.独家出版《Manufacturing Engineering中国》杂志。经授权的所有材料都隶属于 Society of Manufacturing Engineers. 未经书面许可，不得进行任何形式的复制和转载。
国际发行刊号: ISSN 2313-6073

本刊由西安交通大学机械工程学院组织编译。
Translated by Xian Jiaotong University, School of Mechanical Engineering

承印: 上海钦钦印刷科技有限公司 Printed by Shanghai QinQin Printing Co. Ltd.

从微型特征中去除毛刺的几点意见

Tips for Removing Burrs from Micro Features



LAROUX GILLESPIE
Past SME President,
Deburring Consultant

在过去的 80 年里, "微型" 通常意味着具有相应公差的如同手表大小的零件和特征。

例如, 那些直径 1/8" (3.175 mm) 的齿轮、轴以及直径 0.020" (0.508 mm) 公差为 0.0005" (0.0127mm) 的孔。这种微尺度意味着精度需要放大到 30 倍, 4-8 微英寸的表面光洁度可能是关键部件的标准。

至少从 2000 年开始, 微米, 以及现在的纳米型加工, 意味着更小的特征。虽然今天对微米或纳米加工没有确切的定义, 但重要的是要认识到, 今天 "微米加工" 至少意味着 200 μm 到 1mm 的特征。一些制造商认为微型加工包括最高尺度可达 3 毫米。纳米特征尺寸同样没有明确的定义, 但今天金刚石车削被用于生产切口厚度仅为 1nm 的切割。任何 1-200 纳米的特征显然是纳米特征, 人们可以认为任何小于 1 μm 的特征是纳米型特征。

微型化是机械、电子、医疗、空间和国防行业中包括金属、塑料、复合材料、陶瓷甚至玻璃类产品中的一个关键方面。今天, 所有这些材料都是在微观层面上进行加工, 而这种加工会产生必须去除的毛刺。

毛刺是微观加工特征上的一个重要问题, 有几个原因: 第一, 因为实际的切削刃与切削深度的比例要大得多; 这导致切削力比传统加工的比例要高。从本质上讲, 刀具倾向于将材

料推开, 而不是剪切它 (如图 1), 这就产生了比正常情况下更厚的毛刺。

虽然车削刀具的头部半径可以被磨到非常小, 但钻削刀具和铣削刀具的几何形状使降低了磨刀的效果。这就造成了切口在顶部、末端和侧面的毛刺大于正常范围。为了说明这种切削刃的锋利效果, 考虑到在微加工实施中, 切屑厚度通常需要规定在 0.1-0.3 μm 的范围内, 而典型加工厚度范围是 60 μm 。传统的切削刃通常被削成 25-50 μm 的半径, 而不是更适合微切削的 0.1 微米。

今天的许多的加工包含在 300 微米宽和 100 微米深的范围内加工简单的槽或沟。找到这么小的刀具是很困难的, 而且这也非常昂贵的 (想象一下磨刀的艰难程度)。刀具很容易坏, 磨损也非常快, 而且一些最终产品本身因为它们太薄了, 也非常易碎。今天想象出的一些产品只有 5 或 10 个晶粒的厚度, 其中另一些则有结构化的方向, 而不是具有随机的同质性, 因此晶粒和原子结构会影响切割、毛刺和刀具寿命。

由于以前的计算机模型不能充分预测这些非常微小情况下的切削条件, 因此建立了新的模型, 如今在原子或分子尺度上建立的模型被用来更好地预测微型切削结果。这些模型同时存在于车削和微型铣削中。它们不能解决毛

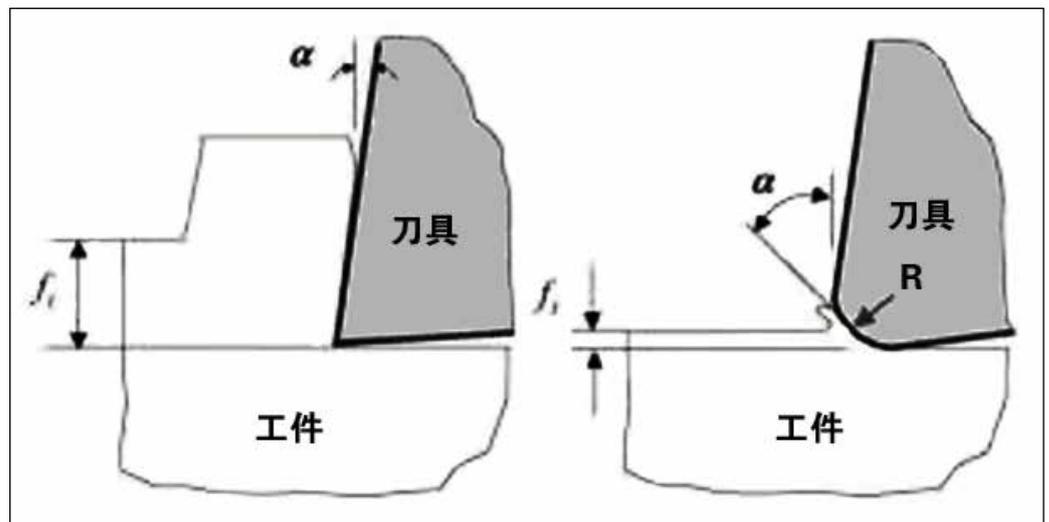


图 1. 传统切割 (左) 和微加工切割 (右) 的区别示意图。

刺问题，但它们可以预测切削力，并建议更好的切削条件，同时预测将产生毛刺的大小。今天，几乎所有的加工模型都预测了一些毛刺的尺寸，因为读者都明白，毛刺是加工的副作用，也是所有制造商关心的话题。

传统的加工几乎总是产生毛刺。因为它们所切割的晶粒大小相比，刀具没有小到可以那么锋利，因此磨损很快，容易断裂，所以在微加工中很难防止毛刺。图2说明了铣削通道顶部的一个常见毛刺；在这种材料中，单个晶粒是很明显的。

微型加工意味着不仅仅是微型的特征。一个零件上的小槽是一个挑战，但整个零件都是这种微型的特征，有些是二维的，但有些却是三维的，包含弯曲的表面与精密的轮廓，需要以百万分之一英寸为单位的表面光洁度，并由难以加工的材料制成。微型零件上的微型特征在坚硬的材料上，每一个边缘都必须是无毛刺的，根据功能要求的不同，要略微圆滑或者绝对锋利。

去毛刺是一个挑战，因为毛刺的厚度超过了可以轻易去除的程度，而且微型零件很难被夹住，因为它们太小了，很难有这么小的区域可以夹住而不会损坏表面。较大的零件通常很容易使用去毛刺刀具和工艺，但很难去除一个只有0.002" (0.0508 mm)深的槽顶部的毛刺，因为工具在半径边缘之前就撞到底部。在微观世界中，它甚至不能到达底部，因为槽太窄了。出于同样的原因，振动或离心翻滚等大规模精

加工也是无效的。简单地说，对于大多数传统的去毛刺工艺来说，微观世界实在是太小了。

那么一家公司如何做才能加速成功去除微观特征和零件上的毛刺？

● **较薄和较短的毛刺总是比大毛刺更容易去除。**因此，第一步是要尽量减少毛刺。虽然切削刃半径、每齿进给量和切削深度通常是控制所有毛刺的最重要因素，但在微加工中使用的各种刀具和加工的材料使我们必须了解其他已经知道的因素。在许多情况下，向上铣削会产生较小的毛刺，在某些情况下，刀具直径也会影响毛刺的大小。自2000年以来，已经发表了近300篇关于微型加工中毛刺及其去除方式的研究文章。公司需要审查已经很清楚的东西，什么是有效的，什么是无效的。

● **在任何情况下，都要寻找不包含传统切削力的工艺。**激光辅助微铣削，即在微铣削之前用激光软化零件材料，在铣削不锈钢时能成功地减少了毛刺，但对钛材料却没有如此效果。

超声波振动辅助切割可以减少力和毛刺。在一个给定的特征上，可能都需要微型放电加工、微型ECM和微型铣削来产生所需的光洁度、毛刺和公差。对于某些加工配置下，直接成型或压花是更好的选择，而微冲压可以在较软的材料上进行加工。

● **考虑覆层。**一些研究人员已经成功地在加工前在表面上使用覆层材料以防止毛刺的形成，或者在其他情况下，尽量减少出现毛刺的大小。在加工后，该覆层材料可以被移除。对于非常小的微观特征，已经成功地使用了PMMA覆层，甚至是超级胶水或带有金属垫片的超级胶水。非常低的温度有助于减少某些材料的毛刺。液态二氧化碳可以将钛材料的微毛刺降到最低程度，纳米金刚石填充的石蜡和植物油可以将铝的微钻孔毛刺降到最低。

激光去毛刺、电火花去毛刺、ECD、电抛光、磁性磨料、微喷砂和表面研磨机的轻度通过都可能适用于微毛刺，但研磨不会去除尖锐的边缘。离子束加工对于超出传统极限的医疗针头的去毛刺/锐化是有效的，但这是一个非常昂贵和缓慢的过程，而不是一个机械加工的过程。

高效率生产设施可以将上述所有去毛刺过程进行自动化，以处理非常微小的零件和特征。然而对于一个典型的小型工厂不会有这样的自动化设备，这使得在涉及到微型加工方面时，理解已经知道的东西变得很重要。

在了解了其他应用中的成功经验后，工厂可以为小批量的生产即兴设计一个解决方案。

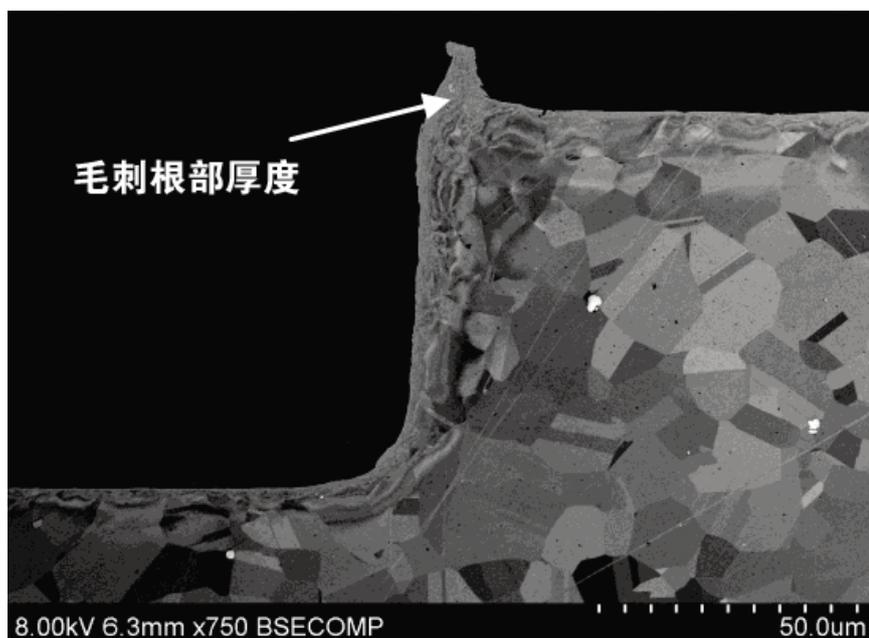


图2. 在微铣削1005钢槽上产生的毛刺。

试试最新的螺旋加工

Give the Latest Threading Advancements a Whirl



KEITH GOODRICH
Turning Product Owner,
CNC Software

几十年来，CAM 螺纹加工的刀具路径是简单的点对点刀具路径，或需要特定刀具来切割螺纹的封闭循环。

近年来，增加了对多头螺纹、锥形螺纹和交叉中心线单点螺纹的支持，对复杂的螺纹加工有了更多的可控性。螺纹铣削是螺纹操作的一场革命。

用传统的丝锥加工孔，本身就会在切削刃上施加很大的力。

刀具设计者在保持刀具足够的硬度以承受这些力的同时，还要尽量减少刀具的轮廓，以便于排屑。用于盲孔的平底丝锥最容易受到这种设计困境的影响。塞状丝锥的设计是为了把切屑往下压，所以设计者可以使这些丝锥的刚性更强，但切削刃上的巨大受力仍是一个问题。除非有一个通孔需要加工，否则塞式丝锥不是一个可行的选择。

螺纹铣削通过减少刀具与材料的接触面积，成倍地减少切削力。这使得螺纹加工的稳定性和精度大大增加。传统丝锥的刀具寿命很难预测；而螺纹铣削刀具的磨损更加均匀、一致和可预测。螺纹铣削可以提高整体加工效率——特别是对于像不锈钢这样的韧性、难加工材料。这

些优势反映在大多数现代 CAM 系统为螺纹铣削创建刀具路径的能力上。

排除切屑往往很重要。重复切割切屑会立即导致刀具寿命降低或切削刃断裂。车削中心单点螺纹加工的另一个主要问题是“切屑嵌套”，这将导致长而粗的切屑缠绕在切削刀具上。这在内螺纹加工中尤其明显，它阻碍了冷却剂到达切削刃。Sandvik 公司的 Opti Threading 等编程修复方案主要针对排屑问题，是一种有助于“熄灯”加工的解决方案。

机床的进步

新型机床可以更精确地控制加速 / 减速，而伺服驱动和加工硬件的创新使得方向变化比以前更平稳。例如，“轨道”加工是一种使用加工中心进行单点螺纹加工的工艺，它使刀具指向中心线（或远离 ID 工作），同时使用 XYZ 轴来创建螺纹的螺旋运动。

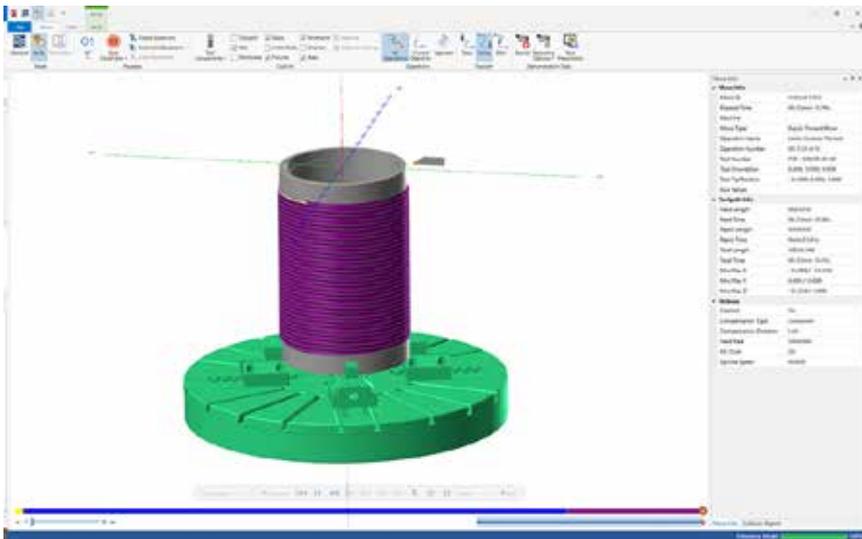
包括 Mastercam 公司的 Custom Thread 刀具路径在内的软件的发展，使程序员能够使用通用形状的刀具来切割符合该刀具物理大小的任何形状或尺寸的螺纹。这种方法几乎可以加工任何螺旋形状的模式——方形、绳形、梯形或自定义螺纹轮廓。

基础提高了效率。例如，贯穿式刀具冷却大大提高了刀具寿命。它使切削刃保持冷却和润滑，并大大减少了切屑的重新切割。

此外，在排除螺纹问题时，孔的准确制备很容易被忽视。在进行螺纹加工之前，可能没有对钻孔 / 镗孔或车削的直径进行足够仔细的检查。

对于正在加工的螺纹尺寸和公差来说，直的、圆的和正确尺寸的直径将为准确和稳定地加工螺纹提供最佳基础。

切削工具经销商和 CAM 软件技术人员可作为很好的资源。通过电话或电子邮件与我们进行一个简单地交流，有时可能会相当于您做好几个小时的切削实验。



使用便捷，完美应对小型工件

松浦机械加工中心MX-330 PC10

欢迎莅临

ITES 2023
深圳国际金属切削机床展览会
2023.3.29-4.1
展位号：11-B46

MAXIA
Innovation by Matsuura

- 适用于小型工件加工，使用方便，具备自动化功能，配有清晰·明确·正确的新型操作面板，属于入门级5轴机床
- 配有3种高刚性主轴，从铝材的高速切削到难加工材料均可全面对应，主轴与工件的可接近性佳，设置方便，操作性优异。
- 采用可收纳90把刀具的链式刀库和PC10(托盘类型为CAPTO C6)的自动化套装，可构建节省空间的自动化系统。



阀体



气缸阀



人工心脏模具



卡盘上爪



支架



株式会社 松浦機械製作所

总部、工厂：〒910-8530 日本福井県福井市東森田4丁目201番地 TEL: +81-776-56-8100

日本株式会社松浦机械制作所上海代表处

上海市仙霞路88号 太阳广场 E301A TEL: 021-6278-2791

www.matsuura.co.jp

增材制造：行业现状

Additive Manufacturing: State of the Industry

增材制造，也被称为 3D 打印，自商业化以来的近 35 年中不断成熟。航空航天、汽车、国防、能源、运输、医疗、牙科和消费产品行业都正在采用增材制造技术，其应用范围之广令人印象深刻。

随着该技术的广泛应用，很明显，AM 不是一个放之四海而皆准的解决方案。根据 ISO/ASTM 52900 术语标准定义，几乎所有的商业 AM 系统都属于七个工艺类别之一。它们包括材料挤出（MEX）、光聚合（VPP）、粉末床融合（PBF）、粘合剂喷射（BJT）、材料喷射（MJT）、定向能量沉积（DED）和片状层压（SHL）方式。本文按销售量和普及程度来介绍这些技术。

越来越多的专业人士，包括工程师和经理，正在了解 AM 何时能帮助改善产品或工艺，而何时却不能。从历史上来看，采用 AM 技术的大多倡议来自于有该技术经验的工程师。管理层正在看到更多关于 AM 如何提高性能、缩短交货时间和创造新业务机会的例子。AM 不会取代大多数形式的传统制造，而是成为产品开发和制造方面的企业可以选择的一个组成部分。

采用的商业案例

AM 的应用差别很大，从微流体到大型的建造。AM 的好处是并不相同的，这取决于行业、应用和期望的性能。无论使用情况如何，一个组织应该有一个很好的理由来采用 AM。最常见的是用于概念建模、设计验证、以及配合和功能测试。越来越多的公司将其用于工具和系列生产应用中，包括定制产品的开发。

对于航空航天应用，重量是一个主要的考虑因素。根据美国宇航局马歇尔空间飞行中心的数据，将 0.45 公斤的有效载荷进入到地球轨道的成本约为 10,000 美元。减少卫星的重量可以节省发射成本。附图显示了由 Swissto12 公司生产的金属 AM 零件，该零件将多个波导结合在一起。使用 AM 技术，该零件的重量能够减少到 0.08 公斤以下。



利用 Solukon 的 SPR 技术从金属部件中流出的粉末。
(图片由 Solukon Maschinenbau 公司提供)

AM 也正在被用于能源行业的整个价值链中。对于一些公司来说，使用 AM 的商业案例是快速迭代的设计，在最短的时间内创造出最好的产品。在石油和天然气领域，一个损坏的零件或组件可能导致每小时数千美元或更多的生产损失。使用 AM 技术来帮助恢复运营，可能特别有说服力。

MX3D，一家大型 DED 系统制造商，发布了一个用于修复管道的原型钳子。据该公司称，一条受损的管道每天可能要浪费 100,000-1,000,000 欧元（113,157-131,570 美元）。下页所示的钳子，使用 CNC 零件作为框架，并使用 DED 焊接管道的周围。AM 技术提供了高沉积率和最小的浪费，而数控技术则提供了所需的精度。

2021 年，一个 3D 打印的水泵封套被安装在北海 TotalEnergies 公司的一个石油钻机上。水泵封套是一个安全性的关键部件，用于控制正在施工的油井的碳氢化合物的泄漏。在这种情况下，使用 AM 的好处是缩短了交货时间，与传统的锻造出的水泵封套相比，排放减少了 45%。

另一个 AM 商业案例是能够减少昂贵的模具。Phone Skope 公司设计了手机摄像适配器，用于连接手机摄像头和望远镜或显微镜的设备。由于每年都有新的手机发布，要求公司发布新的适配器系列。使用 AM 技术，该公司可以节省昂贵的模具费用，这些模具在新手机发布时需要被替换掉。

与任何工艺或技术一样，使用 AM 技术不应该是因为它被认为是新的或不同的。它应该用于改善产品的开发和 / 或制造过程。而且它必须增加价值。其他商业案例的例子是处于定制产品和大规模定制，复杂的功能，整合零件，采用更少的材料和减少重量，以及改善性能。

提高自动化程度

为使 AM 达到其增长潜力，需要解决挑战。对于大多数制造应用，该过程必须是可靠而可重复的。零件和支撑材料去除以及后处理的下游方法的自动化将有所帮助。自动化还可以提高生产的吞吐量，降低每个零件的成本。

目前解决最多的领域之一是后处理的

自动化，如除粉和精加工。通过对系列加工应用进行自动化处理，同样的技术可以重复成千上万次。而挑战在于，自动化的具体方法会因零件类型、尺寸、材料和工艺的不同而不同。例如，牙冠的后处理自动化处理与火箭发动机的零件后处理截然不同，即使两者都是用金属材料生产。

随着零件被优化成 AM 方式制造，往往会增加更复杂的特征和内部通道。对于 PBF 来说，一个主要的挑战是如何实现 100% 的去粉。Solukon 公司制造了自动除粉系统。该公司已经开发了一种技术，它被称为智能粉末回收技术（SRP），它可以旋转和振动仍然连接在构建板上的金属部件。旋转和振动是由零件的 CAD 模型驱动的。通过精确地移动和摇晃零件，夹带的粉末几乎可以像液体一样流动。这种自动化减少了人工劳动，并能提高除粉的可靠性和可重复性。

手动除粉的挑战和限制会限制使用 AM 进行批量生产的可行性，即使是小批量的生产。Solukon 金属粉末去除系统可以在惰性气氛中进行操作，并收集未使用的粉末，以便在 AM 机器中重新使用。Solukon 对客户进行了调查，并在 2021 年 12 月发布了一项研究，表明客户最关心的两个问题是职业健康和可重复性。

手动从聚合物 PBF 构建中去除粉末可能会很耗时。DyeMansion 和 PostProcess Technologies 等公司正在制造用于自动除粉的后处理系统。该系统中可装入许多 AM 零件，并通过翻滚和喷射介质来去除多余的粉末。惠普公司有其自己的系统，据说可以在短短 20 分钟内将

粉末从 Jet Fusion 5200 的打印室中移除。该系统将未熔化的粉末储存在一个单独的容器中，以便重新使用或回收用于非 AM 应用中。

如果能将自动化应用于大多数后处理的工艺中，企业就能从中受益。DyeMansion 公司提供了用于脱粉、表面处理 and 着色的系统。PowerFuse S 系统装载零件后，然后将蒸汽涂抹在光滑的零件上，然后再将其卸载。该公司提供一个不锈钢架来悬挂零件，这是由人工完成的。PowerFuse S 系统可以生产出类似于注塑模具的表面处理效果。

该行业最大的挑战是了解自动化能够提供的真正机会。如果需要生产一百万个聚合物部件，传统的成型或成形工艺可能是最好的解决方案，尽管这取决于具体部件。在生产和测试模具时，AM 通常可用于第一次生产。通过自动后处理，可以使用 AM 可靠和可重复地生产数千个零件，但这取决于零件，可能需要定制解决方案。

发展指向未来

AM 技术是不分行业的。许多组织正在展示有趣的研究以及开发成果，这些成果可能会导致有效的产品和服务。在航空航天业，Relativity Space 公司利用专有的 DED 技术生产出最大的金属部件 AM 系统之一，该公司希望用它来生产大部分的火箭。其 Terran 1 火箭可以将 1250 公斤（2755 磅）的有效载荷送入低地球轨道。Relativity 公司已计划在 2022 年中期进行发射，以测试该火箭，它已经在考虑生产一个更大的、可重复使用的火箭，称为

Terran R。

Relativity Space 公司的 Terran 1 和 R 火箭在太空飞行中带来了革命性的新方法。对 AM 的设计和优化有助于这一发展的激发。该公司声称，与传统制造的火箭相比，该方法减少了 100 倍的零件数量。该公司还声称它可以在 60 天内用原材料生产出一枚火箭。这是一个很好的例子，将许多零件合并成一个，并大大简化了供应链过程。

在牙科行业，AM 技术已经被用来制造牙冠、牙桥、手术钻导、部分假牙和矫正器。Align Technology 公司和 SmileDirectClub 公司使用 3D 打印技术来制造用于热成型透明塑料矫正器的零部件。Align Technology 公司是 Invisalign 品牌产品的生产商，使用 3D Systems 公司的许多光聚合 3D 打印系统。2021 年，该公司报告说，自 1998 年获得美国食品和药物管理局批准以来，它已经治疗了超过 1000 万名患者。如果一个病人的平均治疗过程包括 10 个矫正器（这是一个低估计数量），该公司已经生产了 1 亿或更多的 AM 零件。VPP 部件很难回收，因为它们都是热固性塑料。SmileDirectClub 使用惠普的 Multi Jet Fusion（MJF）系统生产热塑性部件，它们可以被回收用于非 AM 应用中。

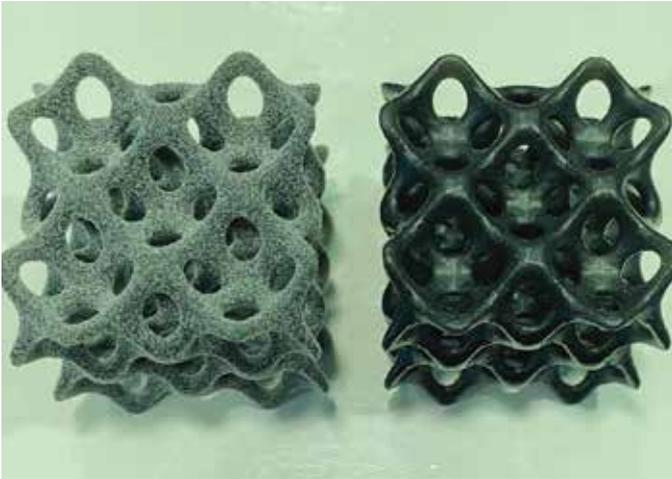
从历史上看，VPP 打印技术没有能力生产出具有强度特性的薄而透明的零件，作为牙齿矫正器使用。2021 年，LuxCreo 公司和 Graphy 公司各自发布了一个可能的解决方案。截至 2 月，Graphy 公司已经获得美国食品和药物管理局的许可，可



由多个波导合并组成的一个 3D 打印零部件。（图片由 Swissto12 公司提供）



石油和天然气管道钳。（图片由 MX3D 公司提供）



打印出的聚丙烯 HP Multi Jet Fusion 零部件（左图），和蒸汽平滑后的部件（右图）。（图片由 DyeMansion 公司提供）



带有支撑结构的直接 3D 打印牙齿矫正器。（图片由 LuxCreo 公司提供）

以直接 3D 打印牙齿矫正器。通过直接打印，从开始到完成的过程被认为更短，更简单，而且可能更便宜。

一个受到媒体广泛关注的早期发展是将 3D 打印用于大规模的建筑应用中，如房屋建筑。通常情况下，房屋的墙壁是使用挤压工艺进行打印的，而房子的所有其他部分都是用传统方法和材料生产的，包括地板、天花板、屋顶、楼梯、门、窗、电器、橱柜和台面。3D 打印的墙体可能会增加安装电气、照明、管道以及供热和空调的管道和通风口的费用。与传统建筑的墙体相比，混凝土墙体的内部和外部装修更加困难，而用 3D 打印墙体改造房屋也是一种选择。

橡树岭国家实验室的研究人员正在研究如何在 3D 打印的墙壁中储存能量。通过在建造时将管道放入墙内，水可以通过它进行加热和冷却。这个研发项目是有趣并且创新的，但它仍然处于早期发展阶段。

我们大多数人还不知道建筑或其他大型物体的 3D 打印部件的经济性。该技术已被用于生产一些桥梁、庇护所、公园长椅，以及建筑物和外部环境的装饰性元素。据认为，AM 在小规模工作时（几厘米到几米）的好处也适用于大规模 3D 打印。使用 AM 的主要好处包括制作复杂的形状和特征，减少零件数量，减少材料和重量，以及提高性能。如果 AM 技术不能增加价值，人们应该质疑它的使用。

收购年份

在 2021 年和今年，与 AM 相关的兼

并和收购是非常广泛的。

2021 年 10 月，Stratasys 公司收购了英国工业喷墨制造商 Xaar 公司的子公司 Xaar 3D 的剩余 55% 的股份。Stratasys 公司的聚合物 PBF 技术，称为选择性吸收融合，由 Xaar 喷墨打印头提供动力。Stratasys 公司的 H350 机器与惠普的 MJF 系统竞争。

Desktop Metal 公司一直在进行令人印象深刻的购买狂潮。

2021 年 2 月，该公司收购了 Envisiontec 公司，一家长期进行工业 AM 系统制造商。2021 年 5 月，该公司又收购了 Adaptive3D 公司，一家用于 VPP 的弹性聚合物 3D 打印开发商。2021 年 7 月，Desktop Metal 收购了 Aerosint 公司，这是一家多材料粉末铺粉 3D 打印工艺的开发商。而最大的一次收购发生在 8 月，Desktop Metal 公司收购了竞争对手 ExOne 公司，价格为 5.75 亿美元。

Desktop Metal 公司对 ExOne 公司的收购将两家著名的金属 BJT 系统制造商合并在一起。一般来说，该技术的采用程度还没有达到许多人认为的水平。各公司将继续解决诸如可重复性、可靠性以及在问题发生时了解问题来源等挑战。即便如此，假设这些挑战得到解决，该技术还是有可能会渗透到大型市场中的。2021 年 7 月，使用专有 3D 打印系统的服务提供商 3DEO 报告说，它已经向客户输送出第 100 万个零件。

软件和云平台的开发者已经看到了

AM 行业的主要增长。对于跟踪 AM 价值链的管理执行系统（MES）来说，情况尤其如此。3D Systems 公司同意在 2021 年 9 月以 1.8 亿美元收购 Oqton 公司。Oqton 公司成立于 2017 年，为改善 AM 工作流程和效率提供了一个云解决方案。2021 年 11 月，Materialise 以 3350 万美元收购了 Link3D。与 Oqton 公司一样，Link3D 公司的云平台可实现跟踪式作业并简化了 AM 工作流程

2021 年的最后一项收购是 ASTM 国际公司对 Wohlers Associates 公司的收购。他们正共同致力于利用 Wohlers 品牌来支持在全球范围内更广泛地采用 AM 技术。作为 ASTM 的 AM 卓越中心的一部分，Wohlers Associates 公司将继续制作 Wohlers 报告和其他出版物，并提供咨询服务、市场情报和培训。

AM 行业已经成熟，许多工业部门将该技术用于更广泛的应用中。但 3D 打印不会取代大多数其他形式的制造。相反，它正被用来创造新类型的产品和商业模式。各机构正在使用 AM 技术来减轻零件的重量，减少交货时间和模具的成本，并提高个性化和产品性能。预计 AM 行业将继续其增长轨迹，不断推出新的公司、产品、服务、应用和使用案例，而这种方式通常会以惊人的速度进行。

www.solukon.de

www.swissto12.com

www.mx3d.com

www.dyemansion.com

www.luxcreo.cn



关注微信公众号
china@mastercam.com

Mastercam® 2023



铣削



车削



车铣复合



五轴加工



线切割



设计

为现代制造业量身定制的高效编程工具

功能丰富,应用简单直观。

避免错误,节约时间,降低成本,提高生产力。

多种加工过程提供优化解决方案,助力向高端制造业转型。

LFAM 打印机突破了物理极限

LFAM Printers Push Physical Limits

增材制造也在变得更加智能化。

大尺寸增材制造 (LFAM) 机器制造商一直在挑战物理定律。

一家公司刚刚出售了其有史以来最大的 3D 打印机,能够制造近 20 英尺 (6.1 米) 长的零件。另一家公司生产的 LFAM 机器可以以 45° 角进行打印。此外,还有一家公司有一台专门用于制造复合材料模具的新机器,可以一次性打印和铸造工具。

同时,随着计算能力提升,智能化不断接管当今机床的更多操作,大尺寸 3D 打印机也不例外。

无需手动操作

位于马萨诸塞州 Wilmington 地区的 BigRep 美国公司可能是最新的 LFAM 机器制造商,他们对控制其机器运行的中枢进行了调整,最终推出了 Pro.2。在这个机型中,手动校准打印床、挤出机和双挤出机制成为了过去式。

“如果从外面,它看起来完全一样,但我们真正关注的是易用性。”母公司位于柏林的 BigRep GmbH 的产品营销主管 Marco Mattia Cristofori 说,“我们在 MXT 控制系统上做了很多工作,所以计算机更加智能。主要的重点是围绕着让用户能够只关注切片和准备 G 代码。”

MXT 系统的更新是 BigRep 新的 Jumpstart 的一部分,根据该公司的网站报道,这是一个“混合的软件和硬件解决方案,让你跳过麻烦,直接开始打印”。Jumpstart 还有两个组成部分,分别是: Switchplate, 一个可拆卸的灵活的打印床,在磁铁的帮助下卡入到位;和 Lockstage, 一个帮助轻松和安全地安装挤出机的工具,能够使挤出机也卡入到位。

在新机型中, Bosch Rexroth CNC 部件驱动了由 BigRep 的 Precision Motions Portal 定制的龙门支承,该部件中包括带有集成编码器的伺服电机。



Sciaky 公司,在今年年初收到了有史以来最大的订单,该订单为 Turkish Aerospace Industries 公司定制的 EBAM 300,与图片中展示的类似。(图片由 Sciaky 公司提供)

Cristofori 说:“该门架更轻,可以真正提高精度和速度。”

Metso Outotec 公司是一家为矿物加工和金属精炼行业提供设备和解决方案的全球供应商,过去是通过先将木块粘在一起制造金属铸件的模具和芯盒。然后用数控系统对所产生的木坯进行铣削。

然而,2021 年 2 月,该公司在巴西的铸造厂安装了一台 BigRep Pro,在很大程度上取代了对沉重木块的需求。在用 Pro 打印了 70 个零件后,负责铸造厂 3D 打印的 Patricia Moraes 指出,Metso 公司将模具成本降低了 70%,加快了生产速度,由于聚合物模具比木头轻,所以处理起来更容易,并节省了以前留给木头的仓储空间。

一个部件,两个挤出机

BigRep 公司最近还优化了其旗舰机型 One,推出了 One.4。One.4 是完全可

定制的,有单、双和双挤出机可供选择。双模式允许用户在第二个挤出机中使用水溶性支撑材料进行打印。或者他们可以在挤出机中使用两种具有不同机械性能的材料,以实现更复杂的应用。

同样的材料还可用于打印其支撑物,这些支撑物最终能够直接取下来。但如果要“从根本上”改善表面光洁度,用户则应该使用 BigRep 的水溶性支撑材料,它可以被完全去掉,该公司的美洲销售总监 Tim Ruffner 说。位于德国的垃圾收集车制造商 Zoeller 将其在 2019 年购买的一台设备升级为双挤出机,以提高产量。

利用 3D 打印技术加快原型迭代,有助于满足 Zoeller 公司不断调整的加工对象,以保证其在许多不同国家使用的车辆均满足当地的特定安全和保护法规需求。因为下一代车辆使用机械升降机而不是人类垃圾处理人员,所以车辆还必须能够抓

取不同类型的垃圾桶。

在 Zoeller 公司采用 3D 打印技术之前，容纳控制器、灯和传感器的部件必须由钢板费力地打造成形。除了需要很长的时间来开发外，这些原型在复杂性、精确度和材料特性方面都受到限制。3D 打印为该公司带来了巨大的变化：原型迭代从几周缩短到了几天；客户可以在他们的想法还没有实现的时候，迅速检查部件的修改；打印的原型很容易安装在车辆上，因此可以在真实世界的条件下进行测试。

45° 柔性打印

2020 年，Thermwood 公司和 General Atomics Aeronautical Systems 公司在两种增材制造方法的正面比较中进行了竞争，以制造一个数控修整工具。

这家航空航天公司使用仿手工铺设的工艺制作碳纤维层压板修整工具，该工具在可作为加工时的夹具使用。Thermwood 公司在其 LSAM（大规模增材制造）上 3D 打印了一个重达 1,190 磅（539.77 公斤）的零件。

“我们把它打印出来并加工后，他们根据成本节约和诸如此类的事情对它进行了自己的测试。在测试完成后，他们表示，这与传统方法相比，它节省了大约 5 万美元。”印第安纳州 Dale 市 Thermwood 公司的营销副总裁 Duane Marrett 说，“打印花费了 16 个小时，后续的修剪花费了

32 个小时。而通常情况下，按照他们以前的做法，从开始到结束需要 6 到 8 周的时间，但是现在，通过 LSAM 将这一时间缩短到了 2 周以内。”

印刷和修剪都能够在 1020 机器内完成，这要归功于该机器的二号龙门架，这个龙门架用于五轴数控铣床。“它们可以同时工作，一个打印，一个修剪。”

Marrett 说，这台机器的两用性并不是 1020 多功能性的唯一体现。

Thermwood 为该机器配备了三种印刷模式——水平、垂直和倾斜。“这是我们的最新技术。在倾斜打印中，我们加入了特殊的工作台和打印头。”Marrett 说，“这大幅度提升了我们的灵活性。”

在造船行业，Thermwood 用 Techmer Electrafil ABS LT1 3DP 为 White River 船舶集团 3D 打印了一个船体模型。虽然这个模型并不是像 General Atomics 公司的那样用于正面演示，但制作该零件的传统方法包括必须用木头或泡沫层粘住毛坯，然后在通过加工去除掉大部分材料，这个过程可能需要几个月。

“这是船厂给我们打印的新设计方案。”Thermwood 公司执行副总裁 Jason Susnjara 在回应 YouTube 视频上显示船体打印的评论时说。

整个打印、组装和修整过程只需要不到 10 个工作日，也仅仅使用了大约 15000 美元的材料。当 Thermwood 公司



Massivit 3D 公司与汽车零部件和宽体套件制造商 Streetfighter LA 公司合作开发了 2020 年的 Toyota Supra MK5 宽体套件，包括在 1800 Pro 上 3D 打印的 16 个部件。现在人们可以通过大型 3D 打印机将前唇和后扰流板等大型零部件一次打印成形，其长度最长可达 5 英尺（1.5 米）。

（图片由 Massivit 公司提供）

将船体部分 3D 打印到接近净值时，那里的操作人员使用 LSAM 中的数控加工中心，对船体两端进行加工，使其平整。最后他们用环氧树脂将这些部分粘合在一起。

“就像制作任何东西的模型一样，如果你开始时有一大块材料，你最终会加工掉它的大部分。”Susnjara 说：“我们的数控中心就是这样的。3D 打印使我们能



Thermwood 公司用 Techmer Electrafil ABS LT1 3DP 为 White River Marine Group 3D 打印了一个船体模型。整个打印、组装和修整过程只需要不到 10 个工作日就能完成，并且仅使用了大约 15000 美元的材料。（图片由 Thermwood 公司提供）



Zoeller 是一家位于德国的垃圾收集车制造商，它将 2019 年购买的 BigRep One 升级为了双挤出机型，以提高产量。打印出来的原型很容易安装在车辆上，因此可以在真实世界的条件下进行测试。（图片由 BigRep 公司提供）



Massivit 3D 公司调整了其紫外线固化材料的化学成分，以帮助其在新的 3D 打印工艺中破水。该设计可用于该公司的 Massivit 10000 模型（也是新的），稍作改变的材料 Dimengel 50 则可以用于打印一个各向同性的复合材料模具的外壳。其外壳可通过水洗去除。（图片由 Massivit 公司提供）



Thermwood 公司和 General Atomics Aeronautical Systems 公司在两种增材制造方法的正面比较中进行了竞争，以制造一个数控修整工具。Thermwood 在其 LSAM 1020 上使用 ABS 颗粒和 20% 的碳纤维填充物 3D 打印了该零件。这家航空航天公司说，与他们正在使用的传统手工铺设方法相比，节省了大约 5 万美元。（图片由 Thermwood 公司提供）

够打印出比最终尺寸稍大的物体，需要的材料去除量就要少得多。3D 打印也比机械加工更快。一般来说，我们发现机械加工的周期约为 3D 打印的 3 倍左右，当然这还要取决于具体的几何形状和表面处理要求。”

影响打印速度的最大因素基本上是被打印的聚合物的冷却速率。因为 LSAM 的颗粒相对较大，约为 0.5 英寸（12.7 毫米），打印机在室温环境下工作。打印出来的颗粒必须冷却到足以支持下一层，但仍然必须有足够的温度来与它完全融合。这意味着有一个特定的温度范围，每种聚合物的温度都不同。这个时间是每层打印的短时间，无论该层大小。

预测未来

芝加哥的 Sciaky 公司，其焊接和 3D 打印技术都是由电子束驱动的，在 2022 年初获得了其有史以来最大的订单。该订单包括一个定制的 EBAM 300 系列增材制造系统，该系统世界上最大的电子束定向能量沉积金属 3D 打印机，其目标客户是土耳其航空航天工业公司（TAI）位于土耳其 Ankara 的工厂。TAI 将使用 Sciaky

EBAM 机器来打印钛合金航空结构。

TAI 和 Sciaky 之间的合同还包括一系列项目的合作，旨在优化客户对 EBAM 机器及其技术的使用。

“一般来说，我们与钛、铌、铬镍铁合金、钽等高价材料打交道——很多东西都是针对航空航天和国防的，当然，这些东西被认为是非常坚固的，通常用于非常严苛的环境，材料需要经得起太空和国防等方面的考验。” Sciaky 公司母公司 Phillips Service Industries 公司的公共关系主任 Jay Hollingsworth 说。

除了进行 3D 打印外，EBAM 300 还可以为大规模应用配备电子束（EB）焊接。这意味着 TAI 公司在需要两种技术的应用中，将拥有结合 EB 焊接和 3D 打印功能的优势。

“AM 系统可以快速切换到做焊接功能。” Hollingsworth 说，“因此，你可以建造一个巨大的、漂亮的航空结构，如果该产品需要与飞机的另一个部分连接，或者你正在建造的任何东西，你都可以直接进行焊接。世界上没有几台机器能够将这两个功能合而为一。”

在质量和控制方面，EBAM 300 采用

了 Sciaky 公司的层间实时成像和传感系统，该系统能够以精确和可重复的方式感知并以数字方式自我调整金属沉积。通过闭环控制 Sciaky 公司在零件的几何形状、机械性能、微观结构和金属化学性能方面，实现了惊人的一致性。

Hollingsworth 指出 3D 打印钛合金部件为 TAI 这样的客户提供了优势。Hollingsworth 说：“对于像航空航天这样的行业，在处理这些非常昂贵的材料时要格外谨慎，因为大型的钛或其他金属坯料采购通常就会需要极长的时间。很多时候，你定制的钛坯材料可能来自俄罗斯，采购周期要长达 15 个月，甚至更久。当你用减材制造进行加工时，材料浪费率甚至可达 80%，这太昂贵了。所以现在，我们缩短了上市时间，同时也降低了浪费。”

Hollingsworth 说，打印完成后还需要对零件进行加工，但他描述其为“最小化”。他指出，航空航天业的其他大制造商，包括 Airbus 和 Lockheed Martin 公司，也拥有 Sciaky 的 EBAM 技术。“我们很幸运，我们的很多工艺已经被批准用于陆上、海上、空中和太空，我们正在努力争取进入商业飞机领域。” Hollingsworth 说，“当



有了 BigRep 的 Pro.2, 手动校准打印床、挤出机和双挤出机制已经成为历史。
(图片由 BigRep 公司提供)



Massivit 3D 与 ACS Hybrid Inc. 和 3D Composites 合作, 在 Massivit 1800 Pro 上打印一个航空零件。(图片由 Massivit 公司提供)

然, 每一个主要的航空制造商都在关注增材制造并进行投资, 因为他们看到了行业的未来。”

减少生产步骤

同时, 以色列 Lod 的 Massivit 3D 公司对其紫外线固化材料的化学成分进行了调整, 使其在新的 3D 打印工艺中可以用于破水。该设计旨在用于该公司的新款 Massivit 10000 模型, 稍作改变的材料——Dimengel 50 可用于打印各向同性复合材料模具的外壳。

“如果你见过有人为地基铺设模板, 那这也是基于同样的概念。” Mike Clark 说。

北美地区复合材料销售经理 Mike Clark 说。“一个外墙是另一个是内墙”。

在这个过程中, 八到十层的“墙”以 1 毫米为单位被打印出来。然后第二个打印头进入, 在墙体之间的空隙中注入双组分工具环氧树脂。打印和浇注的步骤重复进行, 直到模具完成。

Clark 说: “打印和浇筑是同时完成的。”

从开放时间即混合材料达到绿色强度的时间约为 20 分钟。Clark 说, 这个开放时间就是允许浇注层混合的时间, 在此, 可以创造一个真正的各向同性的 3D 打印模具工具。在打印和可选的二次热处理之

后, 该部件就被浸泡在了水中, 从而分解了 Dimengel 50 外壁。一旦干燥之后, 就可以进行接下来的打磨和抛光了。

Clark 说: “模具制造商通常需要 19 至 25 个步骤来制造一个复合材料模具, 但这将这一数量减少到了四个。”他还表示, 改进工艺还可以节省时间, 将总时间减少了 80%, 劳动力减少了 90%, 从而使模具总成本降低了 75%。

材料方向特性和速度方面的进步

除了节省时间外, Clark 还注意到了在 10000 型上制造模具的各向同性。“这是一种固体材料。”他说, “在 X、Y 和 Z 轴上, 热膨胀系数、热变形温度——所有这些特性都是一样的, 无论方向如何。在传统的 FDM 打印机中, 你必须以某种方式确定零件的方向, 这样 Z 轴就不会承受首当其冲的负荷, 因为印刷零件中最薄弱的环节是层压, 层之间缺乏强度足够的粘合。”

Massivit 与 ACS Hybrid Inc. 和 3D Composites 合作, 在 Massivit 1800 Pro 上打印了一个航空零件的工具, 并在热成型机上承受了 45 次拉拽实验。传统上, 这些工具是由高密度泡沫或铝制成的。

Clark 说: “高密度泡沫无法承受 50 次拉动。”金属工具会更耐用, 但在热成型中, 你希望模具能保留一些热量, 但铝是热的

良性导体。

Clark 说: “您在通过 10000 型模具, 使用使用 CIM[流动铸造]155 制作同样的模具时, 将会得到成千上万 (的拉力)。”因为 CIM 155 是一种绝缘体, 它在的隔热性能比铝更好。1800 Pro 和另外两个型号, 即 1800 和 5000, 使用该公司原创的凝胶分配 3D 打印技术, 通过丙烯酸基材料进行打印。

2019 年, Massivit 和 Streetfighter LA (一家汽车零部件和宽体套件制造商) 合作开发了 2020 年 Toyota Supra MK5 宽体套件, 包括在 1800 Pro 上 3D 打印的 16 个部件。这些部件包括车身面板、前唇和动态尾翼。现在人们可以通过大型 3D 打印机将前唇和后扰流板等大型零件一次打印成形, 其长度最长可达 5 英尺 (1.52 米)。

在该技术的帮助下, 人们在 64 小时内就能制作出原型, 这比任何传统的汽车原型制作方法 (如纸板、粘土或泡沫) 都要快得多。Massivit 3D 打印解决方案上有两个打印头, 可以平行生产两个原型零件。可以快速创建多个迭代产品, 缩短零件的上市时间。

www.sciaky.com

www.massivit3d.com

www.thermwood.com

www.bigrep.com

在 Profilator S 240 切齿机上进行加工的近景。
（“Scudding”为已注册商标。图片由 GMTA 提供。）

电动汽车已准备就绪

Gearing Up for eMobility

电力传动系统正在改变齿轮的设计和生產方式：
齿轮加工设备制造商正在应对这一挑战。

无论你在通勤途中看到多少特斯拉或 Bolt，电动汽车——通过使用电力而不是内燃机推动车辆——仍处于初期阶段。然而，事实上，传统汽车制造商以及初创公司正展示出转型的决心，这已经对齿轮等组件的设计和生產方式产生了巨大的影响。

“电动汽车正在很大程度上改变齿轮加工的世界，原因有几个。”总部位于德国慕尼黑的 Gleason 公司的硬齿轮加工解决方案产品管理总监 Antoine Türich 表示，“首先，驱动电动汽车所需的齿轮数量比燃油发动机汽车要少。但是这些齿轮在质量、噪音特性以及扭矩特性方面的要求要高得多。齿轮数量更少，质量更高。”

“此外，由于电动发动机的噪音比燃油发动机小得多，如果变速箱内部的齿轮噪音大，变速箱本身也可能成为问题。声音无法被汽油发动机熟悉的声音所掩盖。”

此外，Türich 指出，电动传动齿轮的转速比燃油发动机高出数个数量级。

“燃油发动机最大运行转速为 4,000-5,000 转 / 分，而通常当你在高速公路上行驶时，转速可能只有 2,000-3,000 转 / 分。

相比之下，电动传动系统中的某些系统可以达到 20,000 甚至 30,000 转 / 分。与燃油发动机相比，电动机输入的转速更高也意味着减速齿轮中的至少第一齿轮的转速更快。”他说道。

密歇根州 Ann Arbor 的美国 German Machine Tools (GMTA) 公司总裁兼首席执行官 Walter Friedrich 指出了另一种变化。虽然电动传动本身所需的齿轮数量较少，但趋势也是齿轮本身种类更加多样化，这意味着零件生产批次变得更短。

他说：“直到最近，我们会为通用汽车等汽车制造商建造一台机器，这台机器将为一个单一的零件号提供服务，而这就是这台机器未来四五年所要完成的全部工作。但现在这种情况已经不再发生了。”

“批量变小了。但是，例如为通用汽车的 E 驱动技术生产齿轮，我们看到的环形齿轮非常相似，但它们有不同的变化来适应不同的传动比。一种齿轮有 40 齿，另一种齿轮有 50 齿。所以，我们看到机器的转换很多。以前他们只为一种零件购买机器，现在他们为一个零件系列中的五、

六或七种不同的零件购买机器。”

密歇根州 Farmington Hills 的 EMAG 有限责任公司的齿轮技术销售总监 Ryan W. Moore 指出，除了这些趋势之外，汽车制造商和供应商还试图满足更严格的环保期望。“他们正在受到检查，以使其过程更加环保，为了生态系统和员工的健康——这是他们最宝贵的资源。”他指出，所有这些都是不断的全球市场压力之上，改善生产效率并降低总生产成本。

齿轮生成设备制造商正在通过多种方式应对这些挑战。

粗加工与精加工

传统上，齿轮是通过“湿式”磨削加工的，使用基于油的冷却液来减少摩擦，散发热量和清除切屑。但是使用冷却液也带来了成本，EMAG 公司的 Moore 列举了其中的成本：“您需要冷却液供应装置；您需要油雾分离器；任何时候在过程中使用油，您都必须在磨削后清洗齿轮。通常，您需要额外的自动化设备，因为您将连接到那台洗衣机。同时需要一个专门的冷却

液冷却器。

“除了所有这些购买成本之外，还有与维护相关的成本；然后清洗冷却液本身和被污染的切屑的处理成本。所有这些都需更多的地板空间，而且还有防止对健康和环境产生不良影响的成本。”

最后，他指出，用于油处理的设备——储罐、高压泵、过滤装置等——吸收了磨床机器总能耗的 75%。

传统的研磨方法通常有两个步骤：粗加工和精加工，而大部分的冷却液需要用于粗加工步骤，Moore 说道：“因为在该零件进行热处理后，齿轮齿条会产生变形，这使得去除材料不平衡。砂轮必须从一个齿条面上去除更多的材料。”

EMAG 公司的解决方案是 SU SG 160 Sky 型研磨机，它用于切削工艺代替了润滑油辅助砂轮的粗车道。在第一道工序中，通过滚齿刀具移除大部分余量，这有一个不加热工件的优点。

“我们使用硬质合金滚刀来去除大部分材料，而不是使用砂轮进行粗磨。这样留下的余量非常小，每边只有 10 微米，用于最后的抛光加工，”他说。随后，砂轮在完全干燥的过程中去除剩余的余量，而不会导致工件过热的问題。

此外，该系统采用两个由线性电机驱动的主轴，同时使用更多通道可实现少于两秒的除屑时间——比传统的双台磨床更快，Moore 表示。无需冷却液的系统具有较小的占地面积和更低的辅助设备投资成本。Moore 说：“同样重要的是，通过完



Gleason 的 HFC，或称硬精加工单元，图片中展示了阶段标签。(图片由 Gleason 公司提供)

全消除切削油的需求，使该机器对环境更加友好。”

双主轴垂直滚齿机

根据 GMTA 的 Walter Friedrich 所说，该公司的 Scudding 机器系列是为了比传统的拉削方法更快速、更经济地制造内部环形齿轮而设计的。该 S 系列包括单主轴或双主轴、水平或垂直配置的型号，以及两个尺寸——S 240 和较大的 S 300。

Friedrich 表示：“拉削是一种快速可靠的过程。但就刀具而言，这也是一种昂贵的过程。我们的机床可以生产同样质量的内环齿轮，但其成本只有拉削刀具成本的一小部分。”

同时，双主轴的配置使得生产速度与拉削相匹配，而刮削过程可以根据需要进行调整，以弥补部件由于热处理而产生的尺寸变化——这是拉削所不能做到的。

近年来，汽车制造商最需要的是垂直模式的设备。

“对于圆形、平坦的零件来说，垂直模式具有巨大优势，因为机器本身可以用作拾取机器，”他说。自动化使得装载和卸载变得更加容易，因为主轴实际上可以移到传送带上拾取零件，从而省去了中间转运站的必要性。“对于轴类应用，水平方向的机器比垂直方向更合理。在水平机器中，你可以更容易地装载轴。”

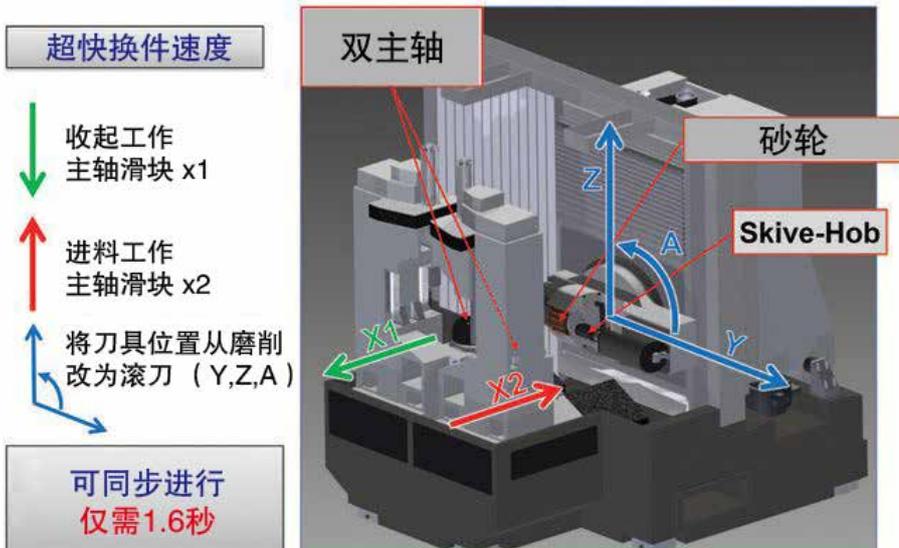
据 Friedrich 所知，GMTA 是唯一一家提供垂直、双主轴铣削机的公司。“这使我们在过去的两年里非常成功。我们有很多来自通用汽车和麦格纳的双主轴机器订单，”他说。

Friedrich 指出，双主轴机器的一大优势是占地面积小，比两台单主轴机器占用的空间小得多。这是在两个主轴而不是一个主轴进行操作的基础上实现的产量增加。他指出，双主轴不仅能提高单项操作的产量。两根主轴能够将完成一项任务所需的时间缩短一倍，这很好，但更棒的是系统能够将零件从一根主轴传递到另一根主轴，进行连续的操作。

他说：“以 Magna 为例，我们所做的是在两个主轴之间转移零件，进行连续的操作，以生产一个成品零件。”

带在线检测的硬齿面精加工

Gleason 的 HFC (硬齿面精加工单元) 系统使用机器人装载机来处理工件，并采用集成模块进行辅助加工、零件装载、螺纹轮磨削、清洗、打标、测量和在码垛机上处理零件，据 Gleason 的 Antoine Türich 说。



EMAG SU SG 160 的双主轴干式切削系统，图示。(图片由 EMAG 公司提供)。

它还显示了在线零件检测的优势之一，它避免了从机器上拆下零件，再放置在独立的测量设备上进行检测，然后再把它送回生产线，运送到下一个位置所需的时间成本。

这是最明显的好处。另一个好处是，在线检测实际会使用统计过程控制的方法，来确保当质量下降时及时做出调整，从而保证严格的公差要求。

正如 Friedrich 所解释的，统计过程控制是使制造商能够摆脱只检查他们所生产的齿轮的百分之五而仍然有质量期望的原因。只有当你把公差要求提高到远远超过齿轮实际运行所需的程度时，这样的小样本才会有用。

“因此，如果你的图纸允许你，比如

说，10 μm 的公差，而你想通过几个零件的抽样来确保你有 99.9% 左右的把握，所有被检查的齿轮都在公差范围内，那么在抽样中，你必须使用更严格的公差 -- 也许是 5 μm。”

但随着那些高转速、无声运行齿轮的要求增加，所需的公差也越来越严格，他说。“而在使用统计过程控制时，我们只能使用一个非常小的公差范围。这确实成为一个艰难的目标，因为现在我们谈论的是大约 2 μm 的公差。如果你把 2 μm 的拉丝公差，因为统计误差而再减少一半，那么你的公差就在 1 μm 以内，但是这样就达到了检测机器的极限。”

“这就是为什么人们正在寻求对 100% 的零件进行在线检测。检查几乎每

一个零件，以真正确保它们在齿轮功能所需的公差范围内，消除了对统计过程控制的需要，以及它所要求的更严格的公差的负担。”

然而，只有当 100% 的零件检测能够以生产零件的速度进行时，才有实际意义。Gleason 公司的检测系统被称为 GRSL，是一个结合了激光扫描的齿轮滚动系统，可以满足这一要求，他说。

他说，GRSL 对测量数据的先进滤波分析也能够检查出关键的噪声问题。“我们不仅能够检查标准的几何质量问题，还能够识别出关键的噪声来源。”

www.emag.com

www.gleason.com

www.profilator.de

PLE 在汽车设计中的商业案例 Business Case for PLE in Auto Design



Dr. Paul Clements
Big Lever
VP, Customer Success

数以千计的功能部件、数以万计的零件和数百万行的软件，所有这些都正确和安全地协同工作：这就是一辆汽车。制造一辆汽车的复杂性是令人生畏的。年复一年，不断变化地建造数以百万计的汽车，其复杂性可能令人难以承受。

但这只是表面现象。

各大制造商生产的数百万辆汽车都不是同一事物的数百万份拷贝；它们是数百万种非常不同的东西，是基于特征内容的在功能和电气上具有独特配置的数万种汽车。产品差异化是保持竞争力和满足客

户需求的唯一途径。每一种配置，以及为该配置专门选择和装配的数千乃至数百万个部件，都必须一直正确和安全地工作。需要处理大量令人头疼的变化，而且每次都要正确处理，这是第三个层次的复杂性，至少和前两个层次一样令人生畏。

传统产品开发的成本

在整个工程和产品开发过程中，用特有的方法来管理这种变化不再可行。这些方法中最糟糕的是将每个不同的配置分开处理。当产品系列发生变化时——功能更新、缺陷修复、优化设计变更或引入新部件——必须将变化单独应用于每个需要它的配置。这会造成浪费和昂贵的重复工作——如果不是在每个配置中都完美地进行改变，就很有可能引入代价高昂的错误。

这也可能成为管理的噩梦，因为产品的变化会在整个企业中产生涟漪。企业花费了大量的时间和精力来处理认证和合规性文件、产品营销、产品组合规划、销售自动化、培训、支持、服务、维护、处理等等——所有这些活动都超出了工程范畴，而且都需要关注变化。

基于特征的产品线工程 (PLE) 是一门工程学科，它利用相关产品之间的

相似性，同时尊重和管理它们的差异。它不仅让公司管理超大规模的差异化，而且还减少了对一个家族的多个成员单独进行工程设计而不是对整个家族进行工程设计所涉及的成倍增长的成本。它的工作原理是创建一个特征目录，即一个产品线中存在变化的汇编。该特征目录以一种易于阅读的语言呈现，参与到所有学科和部门的，从高管到个人都可以使用，以实现对其产品线变化空间的共同理解和思维模式。商业上可用的自动化软件显示了一组特征选择，这些特征选择将一个变体定义为支持该变体所需的所有业务、工程和供应链构件，包括供应商规格、数字工程模型、软件代码、校准集、AUTOSAR 工件、线束设计、网络流量模型、材料清单等等。

有了基于特征的 PLE，不同的部门能够专注于创新和产品的卓越性，使他们能够在专业上出类拔萃，开发出高质量的产品。业务和工程领导层通过采用 PLE，实现了生产率的显著提高、低管理成本、缩短上市时间、减少工作量、提高质量和减少出错的机会。这将转化为一个更加多样化和创新的产品线，更容易适应随市场需求快速变化的产品变化。

极具竞争优势的解决方案， 实现出色铝合金加工



可靠且可持续发展的加工



生产率高，
单个零件成本低

若要降低汽车业排放，减轻重量是成功的关键之一。因此，铝材质凭借其出色的比强度正获得越来越广泛的应用。其中包括了几种电动汽车零部件。

我们的铝合金加工刀具解决方案能够帮助您实现高生产率、高水平质量以及完全无毛刺的成品零件。各种危急和常见问题都可以得到处理，例如生产周期长和刮痕等。

很多原本为常规汽车铝合金加工而开发的刀具解决方案也可用于加工电动汽车零件。这适用于铣削、钻削、攻丝以及非标解决方案。

先进的密封技术正在帮助人们解决电动汽车的噪音和振动问题。

惊人的发展 Electrifying Development

有能力的供应商将使出行更顺畅、更安静。

根据国际能源署的一份报告，经过十年的快速增长，2020年全球道路上的电动汽车数量达到1000万辆，占有所有汽车的1%。到2025年，该报告预测将有7000万辆电动汽车，2030年将有2.3亿辆，占有所有汽车的12%。

快速发展的电动车市场的特点是，其中新兴技术和参与者，缺乏明确的标准和既定的解决方案。此外，该行业还需要极高的创新率，并面对着将正确的产品迅速推向市场的巨大压力。OEM（原始设备制造商）和他们的供应商面临着大量不断变化的挑战和要求。

为了跟上行业发展的步伐，OEM商需要与可靠、有能力和灵活的供应商合作。

快速产品开发

为了满足OEM商的需求，供应商需

要快速地从设计到产品开发、原型制作，并进入批量生产。例如，解决方案供应商可以帮助发动机和电池OEM厂商通过开发轻质、高性能的密封和阻尼材料来降低噪音、摩擦和振动。

供应商利用他们的创新技术、研发经验以及来自其他行业的知识，来帮助原始设备制造商减少开发产品和制造功能原型的时间。

苛刻的要求，创新的解决方案

几乎所有类型的电动车应用都面临着密封方面的挑战，包括卡车、公共汽车、乘用车和摩托车。电池需要密封来保护它免受其他部件的振动，如高速运转的驱动电机和泵。此外，电池密封件还能防止环境影响，如灰尘、污垢、水和盐。如果系统中有润滑剂，它们也必须与之相兼容。

当涉及到汽车时，对电动马达的密封性能的要求通常比内燃机的密封要高。电

动机的运行速度和温度都明显更高。他们的组件也必须有很高的介质兼容性，并能经受住困难的环境影响。密封件必须提供最小的摩擦力矩，同时提供静态和动态密封功能，无论旋转的方向如何。

于OEM商来说，通过与他们的供应商不断合作，来为这种高要求的电动汽车应用开发高质量的解决方案是非常重要的。这些产品包括从专门的旋转密封件到先进的化合物以及用于电动机和电动电池的部件。旋转密封件的设计应能有效地在所需的高速度下运行，以最大限度地减少动力损失，并最大限度地提高汽车的续航。

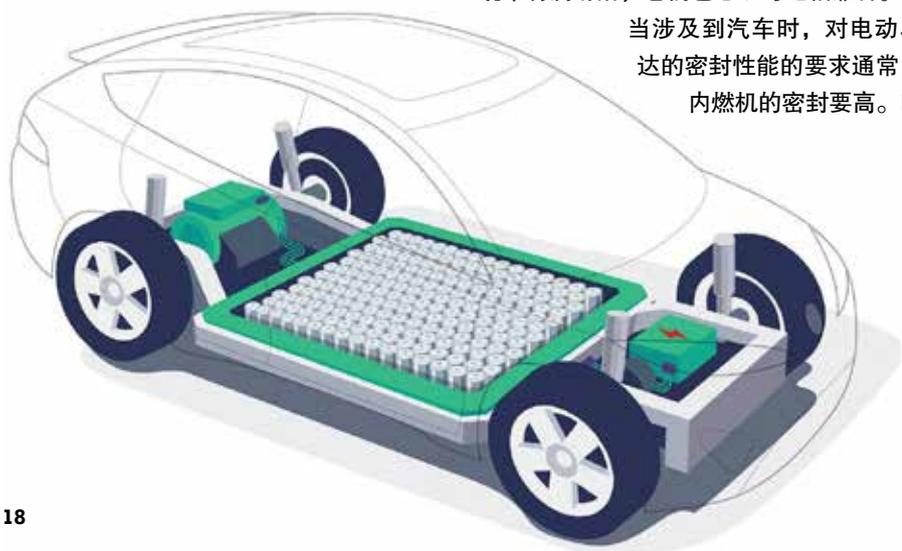
充电

组件供应商还需要确保重要的性能，如绝缘、导热和导电，以及电池周围的电磁屏蔽。这些化合物必须能够承受电动机中的高温。流体兼容性特别复杂，因为电动马达中使用的介质与汽油和柴油发动机中使用的介质不同，后者有成熟的密封解决方案。

一个好的零件制造商将为客户的特定应用创造电池密封件。电池盖不仅要保护电池不受潮，而且要在测试和现实世界中轮胎在雨中运行时向密封件喷水的情况下，提供抗高压喷水的能力。此外，额外的功能特点，如通风、防火和阻尼，也为汽车制造商增加了价值。

更顺畅、静谧的旅程

当电动汽车被开发出来时，许多人认



为嘈杂的内燃机世界将很快成为历史。虽然电动汽车和混合动力汽车更安静，但这并不意味着它们是无声的。典型内燃机的噪音不再是为了掩盖来自变速箱外壳和其他部件的其他结构噪音。

电力传动系统有振动和噪音，其响度和严重程度各不相同。二级供应商帮助其减少这些噪音、振动和刺耳的问题，使之达到 OEM 的可接受水平。例如，在电动汽车的动力传动系统中，研究可用于电动机和电动电池的一系列密封件到先进的化合物和组件。电源逆变器就是造成噪音的主要来源之一。这让汽车 OEM 和他们的供应商感到担忧，因为他们最不需要的就是让潜在消费者望而却步的汽车噪音。

降噪解决方案

变频器制造商遇到电力变频器噪音

问题时，通常解决方案是采用与刹车垫片基本相同的技术。它被称为应用阻尼材料 (ADM)，是一种约束性的阻尼材料层，由金属层与橡胶硫化在一起，产生一个坚固耐用的层压板。聚合物、橡胶和粘合剂一起能够有效地吸收机械能和辐射噪音的振动。

ADM 适用于汽车传动系统中的各种振动结构，但在这种情况下，需要一种新的 ADM 变体。通过结合不同厚度的金属和聚合物，ADM 供应商在更大的噪音频率和更高的温度下创造了更大的阻尼水平。虽然确切的材料组成是专有的，但聚合物是基于丁腈橡胶 (NBR)。粘合剂通常是丙烯酸，虽然也可以使用其他材料。

至关重要，ADM 不包含超过一定尺寸的松散金属颗粒，因为这些颗粒可

以进入发动机甚至电子装置，并导致短路。出于这个原因，ADM 供应商努力控制其提供给发动机 OEM 的部件上的颗粒水平，通常能够控制在 1/10 毫米以下，即肉眼不可见的水平。

总结

人们对电动汽车和电动汽车的兴趣不断增长，技术也在迅速变化以跟上需求。随着市场的发展，OEM 商必须与能够快速反应的供应商合作，在生产过程的各个阶段提供创新、高质量的解决方案。需要考虑诸如绝缘、导热和导电以及电磁屏蔽等特性。

为了确保更平稳、更安静的旅程，OEM 商必须找到方法，用 ADM 的变化等材料创新来对抗噪音、振动和刺耳的异响。

用数字线程编织电动汽车的未来

Weaving the EV's Future with the Digital Thread

根据 Accenture 公司 2021 年的一份报告显示，它很可能会选择电动汽车。电动汽车制造商必须克服一系列独特的挑战，以满足未来客户的期望。其中，面对日益激烈的竞争和不断扩大的技能差距，如何创造符合安全要求和性能标准的创新设计并降低成本，是一项挑战。这些挑战的解决方案来自对设计、开发、装配、检验以及执行这些任务的劳动力的重新构想。

通过用数字线程编织他们的组织结构，电动汽车制造商将把他们重新想象的未来变为现实。

数字线程是一个通信框架，它能展示资产数据在整个生命周期的互联的数据流和集成视图。从本质上讲，数字线程通过企业流程（包括供应链）实现了上游和下游数据的通信和审查。将基于模型的定义 (MBD)，有时也称为数字产品定义 (DPD)，整合到数字线程中，从一开始就为电动汽车工程师提供了一个单一的真实来源。

MBD 需要产品制造信息 (PMI)，这是用于制造和测量零件的制造数据和元数据。它包含设计、质量、GD&T、制造、零件材料和其他基本数据。将其与三维

CAD 模型打包，就完成了 MBD 模型。通过提供一个便于在数字线程上无缝共享、传输和解释的单一文件，有助于实现工程流程自动化，节省时间，降低成本，同时提高生产速度。

为了将 MBD 前端连接到物理领域，并快速实现数字线程信息，领先的电动汽车制造商已经采用了先进的 3D 测量技术。这些计量级 3D 扫描仪有效地测量和检查所有制造阶段的模具、零件和组件，提供实际物体的准确、高质量的数字孪生，从而启动持续的反馈循环。除了提供已建成的尺寸特征外，该软件还导入了 MBD/PMI 数据，解锁了数字工程连接，以改进产品开发，更有效地保证质量和精益制造流程。

该数字线程支持通过数字装配对关键组件进行虚拟验证。例如，电池托盘及其组件的形式、配合和功能对车辆设计的功能至关重要；因此，这些托盘的制造公差非常严格。由于电池内的能量，托盘必须是平稳的，并适当地放置。如果装配不当，能量会产生热膨胀，导致扭曲，使托盘和车身弯曲。使用电池托盘及其组件的数字



Jonathan Gou
COO, Capture 3D

孪生，电动汽车制造商实现了虚拟尺寸和装配验证，包括 GD&T 检查，以提前发现和解决问题。汽车制造商还使用数字装配分析，在物理部件进入全面生产之前，在三维空间中创建和评估工程规范。这种方法也有助于传统的汽车 OEM 公司在电动汽车平台上提供燃气动力汽车时，解决他们的设计可变性需求。

为了取得领先地位，成功的电动汽车制造商将不断利用数字线程及其提供的信息库来实现现代精益生产战略。数字线程是支持未来电动汽车创新的基础构件，制造商们将在这个蓬勃发展的行业中茁壮成长。

通过 CAD/CAM 提高产出

Boosting Output with CAD/CAM

FT Precision 公司使用 CAD/CAM 软件增加发动机零件产量。

在俄亥俄州 Cleveland 和 Columbus 之间的连绵起伏的山丘之间，有一个名叫 Fredericktown 的小镇。该镇成立于 1807 年，保留了许多历史中心和乡村魅力。事实上，该镇居民的主要收入来源仍然是家族经营的农场，其中一些农场在过去 100 年中代代相传。直到 1994 年，供应本田汽车公司的汽车零部件供应商田 Tanaka Seimitsu Kogyo 公司决定在此设立工厂，Fredericktown 才被注意到。该公司的美国分部 FT Precision 有限公司的名称来源于“F”代表 Fredericktown 这个公司所在的小镇，而“T”代表公司创始人 Giichiro Tanaka 的姓氏，而“Precision”则来源于日语 seimitsu，意思是精确。

这个占地 376,500 平方英尺（34,978 平方米）的厂于 1996 年开始大规模生产发动机的摇臂组件，专门为美国本田生产四缸和六缸发动机。FTP 位于 Columbus 北部，距离本田在俄亥俄州中心地区的发动机和装配工厂仅需一到两个小时的车程，这使其成为汽车制造商的一级供应商。工程师 Matt Kline 在 FTP 的制造业务中工作了八年。自那时以来，他见证了公司的成长。

当 Kline 到达时，工厂里有多条数控机床生产线、压铸机和组装机。随着 FTP 的不断扩张，克林与管理层商讨了他所需要的设备，以增加零部件的生产。他要求增加一些数控机床用于维护和原型零部件加工，包括一个带活动工具的 Haas TL15 双主轴车床和一个 Haas VF3 数控立式铣床。在 2016 年，Kline 想到了生产自己的铝压铸模具零件，并购买了两台 Mazak Variaxis i-600 五轴立式加工中心中的第一台。为了使所有机器运行平稳，他需要一个强大的 CAD/CAM 软件程序，可以处理粗加工和精细加工的循环，使他



加工中心配备了 Sandvik Cormorant 刀具和定制的夹具，机床可以在 137IPM 下以 4500PM 的速度切割工具钢。（所有图片由 CNC 软件公司提供）

能够定制自己的生产流程。

将工作带到工作室内完成

“我推荐购买 Mastercam 软件是因为它使用方便且在贸易展览中看到的功​​能，”Kline 说，他指的是来自 CNC Software 有限公司的软件，该公司位于康涅狄格州 Tolland。他与 Mastercam 经销商 FASTech 有限责任公司（位于俄亥俄州 Findlay）合作启动并学习软件的不同功能。很快，他就能制造替代压铸零件，并获得了可观的回报和投资回报率。

“我能够以惊人的速度生产大量零件。过去，我们从海外获得这些零件需要花费几个月的时间，现在我通常几周就能生产出来。该软件确实提高了我们在这方面的产量，”Kline 说。

过去，压模嵌入件的制造是外包的，需要 4 到 6 个月的时间才能发货，每个零

件成本约为 2,000 美元。通过内部生产，Kline 已将成本降至成本的三分之一。

“内部生产的能力绝对是一场改变游戏规则的活动，”Kline 说。那么，他们是如何做到的呢？

Kline 是 Mazak 机器的唯一 CNC 程序员和操作员。他使用试错方法来最好在内部制造压铸模具。他首先在软件中创建自己的夹具，然后将机器推到极限。在创建这些夹具时，他使用 Mastercam 模拟器来识别任何崩溃或冲突点，以提高制造能力。

除了正确的夹具，高速加工需要一个能够承受机器内强烈振动的刀柄。Kline 青睐 REGO-FIX powRgrip 刀柄。

“我已经了解到，无论何时将刀具插入 REGO-FIX 中，其运行误差都在几微米之内。如果使用实心、可扩展的夹头或液压端铣刀柄，总指示器读数可能

会产生工具跑偏，”他说。“如果没有在 Mastercam 导入正确的刀具，那么 Mastercam 中的仿真型腔或镶件的加工，将难以保证要求的光洁度和公差。”压铸模具是由日本工具钢制成的，选择它是为了处理铝压铸中的持续可靠。

编程策略

Kline 首先通过编程传统的轮廓铣削路径来制造压铸模具。FASTech 团队建议改变他的编程策略为 Dynamic OptiRough 路径。这些路径利用刀具的整个凹槽长度，但仅在第一次切割时使用刀具直径的一小部分，然后进行几次较短的连续切割，将零件带入所需的最终形状。

这些刀具路径只专注于去除指定的材料。像它们的 2D 动态铣削一样，OptiRough 刀具路径提供了恒定的切屑负载，这是因为软件中的专有算法在切割前检测到了材料的变化，使刀具能够与材料保持持续接触，最大限度地减少了跨步，节省了刀具的寿命。

Kline 通过实施 OptiRest 策略和编制 OptiRough 刀具路径，将零件的粗糙度降低到 250 微米以内。前者允许刀具自动用同一刀具进行第二次粗加工，只识别并去

除 OptiRough 刀具路径无法去除的材料。

“我使用粗加工轨迹的速度和精度，为精加工轨迹留下最小的余量。这样可以延长刀具寿命，减少换刀次数，”他解释说。当被问及他是如何确定日本钢的收缩率和膨胀率时，Kline 说他是通过试验和错误来确定的。

“铝压铸是极其困难的；它不仅仅是加工，”Kline 说，“FT Precision 在开发这种精密铸造方面花费了大量的时间和金钱，以减少加工步骤。”

额外的精加工过程也需要一些试验和错误。Kline 尝试了不同的热处理、氮化物和 PVD 涂层供应商，最后在印第安纳州附近找到了一家拥有正确技术的供应商，以帮助消除 FTP 的一些额外精加工过程。

Kline 说，一旦固定夹具到位，编程完成，他就能在 Mazaks 上加工一个完整的零件，包括精加工。通过对 OptiRough 刀具路径进行编程，他将每个零件的生产时间从 8 小时减少到 1.5 小时。通常情况下，他每天可以生产六个刀片。

扩展解决方案

然而，铣削刀片、铣刀和钻头都遭遇过失败。Kline 向 Sandvik Coroman 公司

求助，他们帮助解决了多个问题，包括选择使用哪种工具、合适的进给速度和切削深度。“最大的成就是采用 OptiRough 策略和 Sandvik Coroman 公司的 CoroMill Plura HD 铣刀进行粗铣，”Kline 说。他可以使用一把铣刀生产约 20 个零件。这节省了更换工具的时间，而且根据 Kline 的说法，这远远弥补了刀具成本。

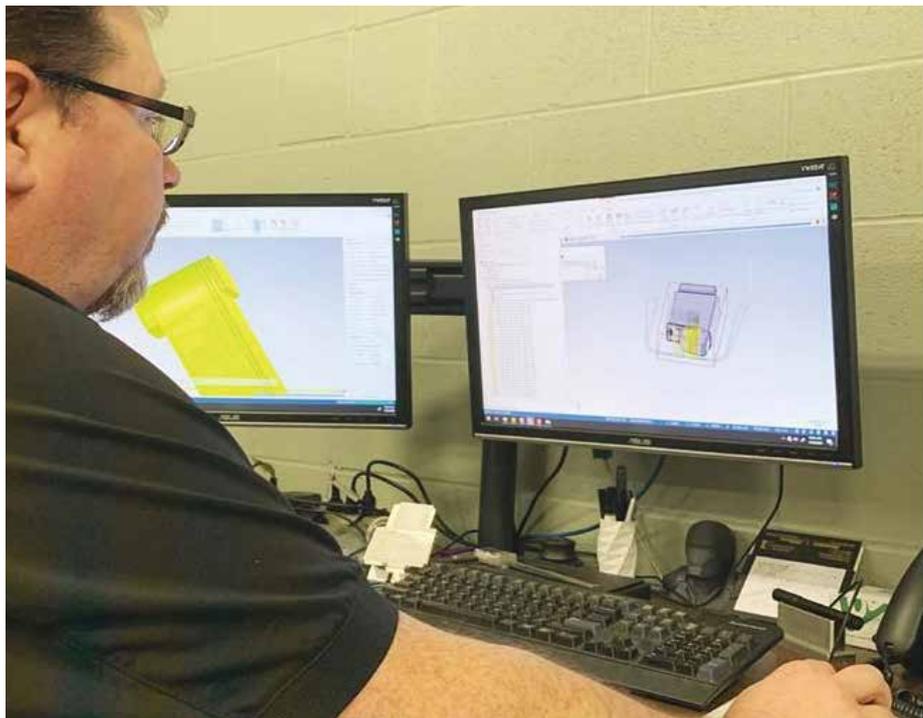
“现在，我能够以惊人的速度生产大量零件。”—— Matt Kline，一位来自 FT Precision 公司的工程师

FTP 的正常生产过程，即压铸、机械加工和组装操作通常会经历设备的磨损和意外故障。“如果一个零件损坏了，我们通常只会收到一个 2D 图纸，然后需要在 CAM 软件中创建一个实体模型。通过使用 CAM 软件，设计到制造过程是无缝和快速的。转交时间大约是两个小时，然后就可以反馈到制造车间，”Kline 说。

高精度、ISO 认证的环境需要一种类似的纸质记录方式进行质量确认和检验。为了帮助简化这个过程，Kline 使用了 Mastercam 的一个附加组件 Productivity+ 来对齐零件，以收集检验表和质量检查的数据。这个附加组件让他能够在机床上运行 Renishaw 测量探头，以更新夹具偏置、刀具偏置、程序方向，并报告关键尺寸和公差。他还能编程和模拟探头，以提高工艺控制和机床性能的报告。此外，当 Kline 确认试制部件已准备好进行大规模生产时，他使用附加组件来简化零件的设置和关键特征的验证。他与 FASTech 的 Kevin Richardson 密切合作，学习了测量附加组件。“Kevin 与我一起努力使其运行起来。一开始是一个挑战，但现在完美无瑕。它能做我想做的一切。”Kline 说最好的特点是能够从实体模型中选择检验点。

FTP 的铸造组每天生产近 75,000 个零件，每天 24 小时，每周 5 天运行。Kline 强调说，如果没有他的制造供应商的支持，他就不可能完成模具部件制造的美国本地化。

www.mastercam.com



Matt Kline 使用 Mastercam 软件的验证仿真功能，之后使用比较功能，以避免任何潜在的刀具碰撞和错误的刀具路径。

通用汽车借助 AM 技术来支持汽车生产

GM Uses AM to Support Automotive Production

AM 如何帮助通用汽车应对 2022 年全尺寸 SUV 车型的生产挑战。

通用汽车从传统的汽车制造商发展为平台创新者，它不断地通过新技术和创新方法重新定义汽车开发过程，以帮助公司加速实现其零事故、零排放和零拥堵的愿景。

通用汽车为使公司更加敏捷而进行的战略投资之一是增材制造。增材制造工业中心（AIC）于 2020 年初开放，占地 15,000 平方英尺，是通用汽车致力于在汽车行业中实施 3D 打印技术和开发工作的基础设施，以使 3D 打印部件能够用于车辆生产、装配厂和其他汽车应用。

通用汽车使用“增材制造”一词来描述 3D 打印部件的整个生态系统，支持采用整体的、集成的、企业化的方法来加速产品开发和模具开发。通用汽车的增材制造功能在生产和赛车零件的敏捷开发中发挥了关键作用，消除了昂贵的模具成本，甚至解决了在汽车开发过程中不同阶段出现的意外挑战。

挑战与机遇

在宣布开设 AIC 后不到一年，通用汽

车公司开始为 2022 全尺寸 SUV 乘用车制造网络的投产做准备，在开发后期才做出一项工程决定，实施设计变更。这一变更要求在该公司最受欢迎的几款全尺寸 SUV 车型上引入一个额外的零件。

这个额外的零件是在每辆车的尾部增加的一个扰流板封闭密封件，它将改善空气动力学，并提高每辆产出车辆的燃油效率。

在正常情况和设计前期，这种变更并不难，但在开发后期进行设计变更是很少见的，这就造成了需要对计划生产运营进行快速调整的情况。因此，通用汽车团队需要快速开发并大批量制造所需的零件，以满足原定的生产时间表。

从所需的变更开始，该团队估计需要大约 12 周的时间来开发、生产和安装一个注塑模具，用传统的制造技术来制造这个零件——这将导致客户延迟交付 30,000 辆车。

由于扰流板封闭密封件被认为是可持续生产的必要条件，而通用汽车本身又没有办法生产该零件，因此通用汽车面临着

潜在的供应链缺口，如果不加以解决，可能会导致车型年度生产计划的开始时间推迟，从而影响到向经销商和客户交付车辆。

替代解决方案——AM

由于需要一个替代方案，通用汽车迅速开始评估潜在的解决方案。为了保证替代方案的可行性，它需要尽可能地复制预期的设计，一旦生产零件可用，就能够实现零件的无缝转换，这意味着车辆将不需要后续客户更换替代解决方案。此外，替换零件需要满足客户对外观质量的要求，并满足环境耐久性条件。

作为探索和验证过程的一部分，通用汽车最初对使用一种现有的 EPDM 泡沫条进行了评估。尽管这种材料能够很好地满足所需部件的空气动力学要求，但从外观的角度来看，团队在创造一个适合生产的替换件方面并没有取得成功。

增材制造的固有优势之一是，它不仅能够在不使用现有模具的情况下生产和复制零件，而且可以使用各种不同的材料进行打印。

由于其他提议的解决方案不尽如人意，通用汽车的增材制造团队建议采用惠普的 Multi Jet Fusion 3D 打印技术，该技术使用助溶剂来促进粉末的能量吸收。红外线光烧结下面的聚合物粉末层，直到产生一个 3D 零件。通过使用这个平台，该团队能够生产出一个 3D 打印的扰流板封闭密封件，该密封件在美学和功能上能够与注射成型的产品相媲美。

在创建了一个有前景的概念零件后，该团队通过风洞测试验证了其功能和设计，以确认所提出的 3D 打印解决方案能够满足所需的空气动力学性能。通用汽车工程和设计部门的高管对其外观进行了审查，确保其符合客户车辆所需的视觉标准。

尽管通用汽车的增材制造团队已经成功找到了解决注塑模具供应缺口的方案，



在 GKN Forecast 3D 车间的一系列 HP Multi Jet Fusion 3D 打印机。（所有图片由 GKN Forecast 3D 公司提供）

并获得了领导层的认可，但它仍然需要应对在所需规模上实现批量化的挑战。

协作的方法

在大多数情况下，当一个 Multi Jet Fusion 部件被 3D 打印出来后，该部件会经过一个标准的精加工过程。然而，在这种情况下，零件需要经过蒸汽抛光工艺，以得到一个光滑的表面，来与相邻的成型部件和密封件的配合，并使材料本身获得更好的机械性能。

根据工件的材料和零件几何形状，这个过程通常需要 1-2 小时，然后才能将成品从数字控制的加工室中取出。

当该团队在开发一个大批量抛光这些打印部件的工艺时，他们发现所需的化学蒸汽耗材存在全球性的材料短缺——这给本已不利的情况又增加了一层复杂性。

由于抛光过程是生产零件的一个必要步骤，材料短缺和干燥时间过长，将不允许在紧迫的时间内生产指定数量的 3D 打印零件。这给生产带来了又一个挑战。

GM 与 GKN Forecast 3D 有着长期的合作关系，GKN Forecast 3D 是一家为高质量原型制作和备用零件提供 3D 打印、快速加工和快速加工解决方案的供应商，GM 的团队向其寻求帮助，以提高 3D 打印扰流板封闭密封部件的生产。

考虑到生产过程的各个方面，这些团队能够确定减少加工时间的最佳时机，以满足增长的需求和生产时间表。零件的打印和蒸汽抛光在生产中几乎没有改进的余



经过精加工后的 3D 打印后扰流板收口密封件。

地，但干燥工艺尚有改进的空间。GKN Forecast 3D 通过引入和验证一种加快干燥时间的方法，来缩短完成生产过程的时间。通过联系 GKN Forecast 3D 的供应商网络，该团队得以采购蒸汽抛光耗材来完成精加工过程。

在短短的几天时间里，人们对新的干燥工艺进行了测试、验证和实施，并使其时间缩短了近 60%。生产周期的缩短使成品零件的产量增加了两倍。

通过使用创新的方法，团队能够加快生产进度，并在五周内成功制造和抛光所需的 60,000 个零件，用于约 30,000 辆全尺寸 SUV。

由此产生的 3D 打印部件被供应给生产密封件的二级供应商，二级供应商利用粘合剂将部件粘到扰流板上。然后，成品部件被及时运到通用汽车的装配厂，成功地安装到成品车上，避免对生产计划造成严重影响。

接受挑战，制造解决方案

通用汽车的增材制造专业技术和可信赖的供应商网络，使其能够迅速应对各种挑战，并最终按时交付可行的解决方案，如果没有公司在增材制造方面的协调一致的战略投资，这是不可能实现的。

在短短三周的时间里，来自通用汽车、GKN Forecast3D 公司和其他供应商的团队就能够利用 Multi Jet Fusion 平台，为后扰流板密封设计、创建和实施可行的价值流。通过对增材制造的创新应用、快速协作和精确执行，这些团队取得了通过传统的注塑生产方式无法取得的成果。

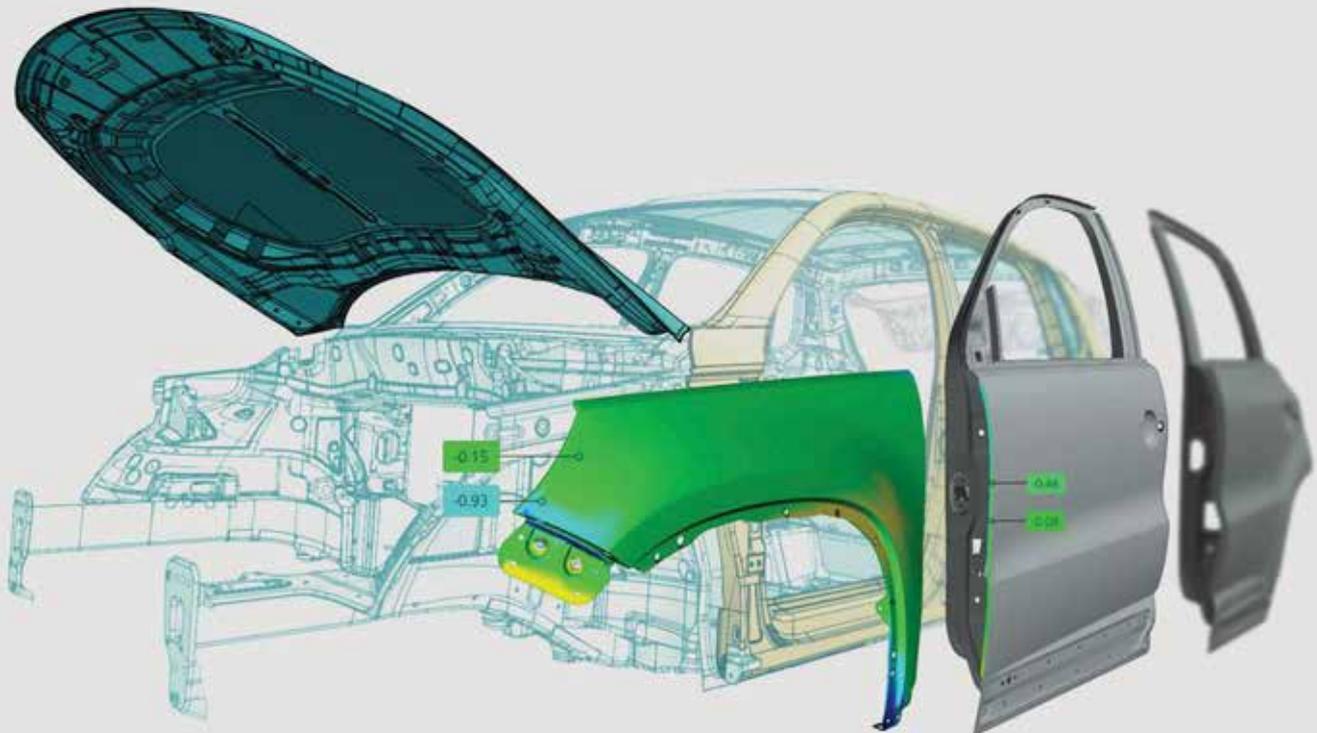
在高压环境下解决这一制造挑战，不仅为通用汽车带来了直接的经济利益，也使经销商和客户能够及时的交付，而且还证明了增材制造能够实现的重要价值和多功能性。

展望未来，增材制造的应用将继续在通用汽车的各个领域扩大。随着公司继续引进新技术，进行创新，并加快产品开发周期，增材制造的扩大应用将发挥更重要的作用。

www.forecast3d.com



一个 3D 打印的后扰流板封件，在进行精加工之前（上）及之后（下）。



Capture 3D 的全域 ATOS 三维扫描技术的数据可被纳入 GOM 软件的数字装配分析软件中，使汽车 OEM 商能够从其工厂、供应商和层级供应商那里接收工件的计量数据，并在数字过程中通过协作确定这些部件是否适合装配，无论他们身处于何处。（图片由 Capture 3D 公司提供）

计量软件与智能制造接轨

Metrology Software Plugs Into Smart Manufacturing

测量数字化是新兴智能工厂的一个重要元素。关键是如何通过软件如何提供这些数据。

Scott Lowen 毕业已经有一段时间了，但他仍然在做“科研项目”。即 Lowen 也经常开玩笑说的概念验证项目，项目内容通常为测量一个零件，让所得到的数据决定补偿修正量，并自动送入车削中心、铣床或其他机床中进行二次加工。

虽然 Lowen 在密歇根州 Wixom 的 Zeiss Industrial Quality Solutions 公司（他是该公司的软件和配件产品经理）正在进行的科学项目，可能没有办法完全支持计量数据可以轻松产生全自动加工修正的假设，但 Zeiss 公司始终致力于自动化解决方案的研究。其他公司，如 Capture 3D 公

司（Zeiss 的子公司）、Renishaw 公司和 Verisurf 软件公司，也都在利用计量数据对机床做不同程度的自动修正的解决方案。

同时，正在进行的科学项目是 Lowen 工作的一个重要部分。

他说：“在自动反馈 [系统] 中创建连接类型所投入的时间远远超过了对机床进行自动反馈补偿的回报。我们现在仍然需要工程师来查看适当的数据，并给机床创建适当的反馈补偿程序。”

这对制造工程师的工作保障可能是个好消息，但它提出了新的问题。测量过程可以完全集成到智能制造中吗？或者说计

量技术可以被纳入万物互联、数据驱动和自动化的新世界当中吗？

自动纠错

位于伊利诺伊州 West Dundee 市的 Renishaw 公司有一款产品处于试运行状态，该产品名为 Renishaw Central，是一个制造数据平台，其所容纳的信息包括机床状态、警报以及来自机床测头和对刀仪、Equator 测量系统和坐标测量机的测量结果。

该平台有一个应用编程接口，使用户能够查询信息并将其输入其他软件系统中，

发格自动化



角度编码器



直线光标尺



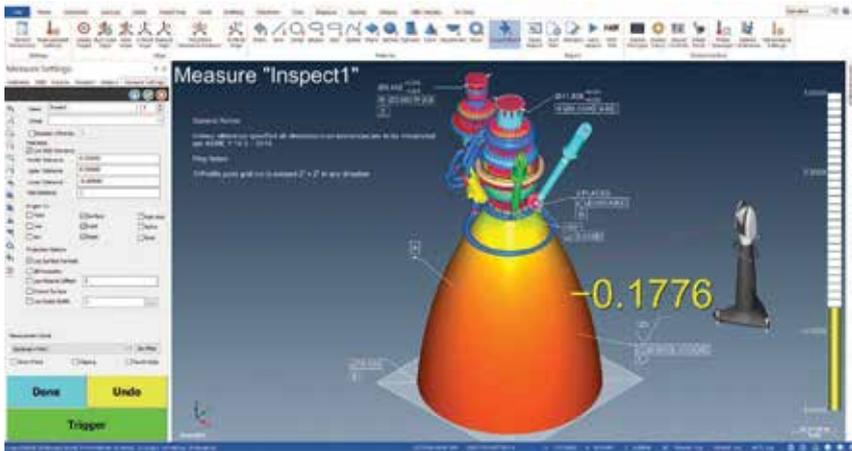
伺服/主轴驱动系统



数控系统



提供完整解决方案
助力中国智能制造



Verisurf 2022 支持多边形网格的基于模型的定义 (MBD), 使用户能够使用智能网格创建模型并进行检测。MBD 网格文件可以代替 CAD 模型, 作为检测增材制造零件的基准。(图片由 Verisurf 公司提供)



Zeiss 公司的 PiWeb 是一种工程工具, 它不仅帮助制造工程师分析和确定哪些部件超出了公差, 而且为还能够确定超差原因。该应用程序允许他在零件数据库上进行搜索, 具体查看机床、日期和时间或批号, 还具有过滤不必要的信息以及进行趋势统计等功能。(图片由 Zeiss 公司提供)

例如用于企业资源规划或定制仪表板的软件系统。

“我认为我们看到 [我们的客户] 最大的改进是利用这些测量数据生成预先配置的自动纠正措施, 无论是刀具偏移, 还是工件偏移, 等等。我们系统的用户可以设置如何对测量结果作出反应, 以及将纠正措施传达给哪台机床。” Renishaw 机床软件经理 Brandon Golab 说。

一种被称为智能过程控制的技术对此提供了技术支持, 该技术这是一系列通信协议, 允许客户决定他们想要如何处理测量情况。反过来, 这可以在必要时对制造过程或机床进行偏移和智能调整。

Renishaw Central 系统还具有可视化功能, 提供标准仪表盘, 显示机床状态和测量结果。此外, 它还可用于历史数据分析。

在试运行期间, 该平台为每个测量设备设置了一台机床, 但 Golab 说, 他没有对互动的机床数量进行设限。

他说: “除了 Renishaw Central, 我们还有几款产品可以让机床 [工具] 本身不仅仅是收集数据, 而是能够在单一的机床结构中进行闭环制造反馈。”

我们为新操作员或经验不足的操作员设计了 Set and Inspect with Program Builder (在机使用), 以及离线解决方案 Productivity+。Set and Inspect 用于完成零件设置、零件验证、夹具负载验证和加工——测量——加工 (操作员进行半精加工, 测量结果, 然后根据测量数据进行精

加工) 等工作。“所有这些都可以在软件中进行设置。” Golab 说。Set and Inspect 还可与 Renishaw 的 Reporter 软件一起使用, 将数据反馈到 Renishaw Central。

“Productivity+ 使用 CAD 模型生成与 Renishaw 的 Inspection+ 类似的程序, 但由于它是 CAD 驱动的, 对程序员来说更容易。但同时它又与 Inspection+ 非常相似, 都是在单个机器层面上的数据。” Golab 说。Inspection+ 是 Renishaw 基于宏程序的测量软件, 适用于经验丰富的用户, 他们可以编写 G 代码, 在 CNC 控制器的级别运行。

Renishaw 的测量技术甚至可以用于预测性故障。要做到这一点, 需要把来自 Productivity+ 的数据与该公司的 Sprint 传感器配对, 后者每秒测量数千个点, 以评估工件的表面状况。

“随着刀具的磨损, 你通常会看到零件表面出现波浪。” Golab 说, “因为这是对刀具性能的直接测量, 它可以成为一种比间接方法 (如主轴负荷) 更好的刀具磨损评价指标。”

将决定权赋予设计师

加利福尼亚州 Santa Ana 市, Capture 3D 公司的总经理 Rick White 对闭环制造也很熟悉, 但更确切地说, 是一种叫做自适应加工的闭环技术。他说: “该技术根据扫描数据的结果, 在数控加工中心创建一个闭环。自适应加工软件可以自

己找出要做的事情, 以达到 CAD 模型的要求, 并自动为机器创建一个新的路径, 以修复需要修复的东西。一切都是实时完成的, 无需人工干预。”

White 曾在 Capture 3D 公司担任首席执行官, 该公司是 GOM 3D 非接触式测量解决方案在美国的主要合作伙伴, 直到 2021 年 10 月该公司被 Zeiss 收购。

除了用于自适应加工外, Capture 3D 的全域 ATOS 3D 扫描技术的数据还可以反馈到 GOM 软件的数字装配分析中。“我们的航空航天和汽车客户, 通过我们的技术对来自世界各地的零件进行数字组装, 并取得了成功。该技术能够在实际发货前的确保配对和规格。” White 说, “这有助于公司更快地纠正问题或为变化做准备, 同时降低成本, 帮助更高效地推出新产品。”

例如, 在汽车 OEM 商从其工厂、供应商和层级供应商那里收到挂件的计量数据后, 无论他们在哪里, 他们都可以在一个协作的数字过程中通过使用白车身的数字模型来确定这些部件是否适合装配。此外, 全场数据为数字双胞胎提供了数以百万计的精确数据点。“最让人满意的是他不仅有效, 而且是相当成功。” White 说。

另一项利技术是基于模型的定义 (MBD), 该技术也能用到一些制造商的数据流。White 说: “[MBD] 的意思是, 从一开始, 测量编号、工艺和差异以及 GD&T (几何尺寸和公差) 就是 CAD 模型



Renishaw 的 Set and Inspect with Program Builder 是为经验不足的操作人员设计的，可在机器上使用。
(图片由 Renishaw 公司提供)



Capture 3D 公司的 ATOS 全场扫描系统由 GOM 软件提供支持，由于 CAD 软件中使用了基于模型的定义，因此他可以自动感知要检查的内容以及如何确定一个部件是否在公差范围内。 (图片由 Renishaw 公司提供)

的一部分，并与 PMI (产品制造信息) 一起被导入 GOM 软件。当设计师设计零件时，他们也在输入零件的公差信息。然后，计量系统拥有这些信息。它知道要检查什么，知道如何确定哪些部件合格，哪些部件超差。”

原来决定需要测量哪些内容是下游检测员的工作，而现在，都将其归为了设计师。我们相信设计师比其他人更了解这些信息，因为他们更具有大局观。他们设计的零件要一起工作，而即使是同一个零件的公差也不是通用的。

White 说：“MBD 需要一个通用的标准化，以便在计量软件中正确读取。希望 QIF 格式能成为这座桥梁。”并指出，QIF 即质量信息框架 (Quality Information Framework)，是一个统一的 XML 框架标准，用于共享数字化质量信息。他继续指出：“一些组织比其他组织发展得更快；然而，我们已经看到了一个整体的上升趋势，这就是我们看到的未来。”

数字计量标准联盟 (DMSC) 创建了 QIF，以满足对数字计量标准的关键需求，帮助推进尺寸计量，White 解释说。DMSC 在该联盟的网站上表示，QIF 3.0 计量标准已被获批，并由 ISO 在 2020 年 8 月作为新的 ISO 标准 ISO 23952:2020 进行发布。

将 MBD 添加到扫描网格中

“Boeing 公司需要 MBD，不仅是 Boeing，所有的大型航空公司都需要它。”加州 Anaheim 市 Verisurf 公司的总裁兼

CEO, Ernie Husted 说。他表示 MBD 能够同时节约时间和金钱，“但是很多公司还没有习惯于使用它，他们目前只习惯绘图。”

“在过去的几年中，所有头部 CAD 公司都把它作为一个标准功能来实施。因此，现在他们可以用适当的 GD&T 公差对模型进行校准，并将该文件发送给他们的供应商，他们不再需要图纸了。”

如果 CAD 模型有 MBD 信息，Verisurf 软件可以使用嵌入的数据，可以通过任何 CMM、机械臂、跟踪器或扫描仪自动完成检测计划，Husted 说。“其中有一项工艺是，如果你在做机床标定，那么你可以调整刀具的偏移。在机床上，会存在刀具补偿和刀具磨损补偿，当刀具磨损时，你可以调整偏移量，根据加工的特征位置，来进行不同方向的偏移。因此，你可以直接对刀具磨损进行自动调整，但是一旦刀具出现故障，你还是需要更换刀具的。”

用户还可以用 Verisurf 的开发工具包编写特殊的应用程序，以帮助系统做出决定。例如，当一个零件超出了公差时，如果机床转盘上有多余的刀具，该应用程序可以帮助实施换刀。还可以编写程序来控制机器人进行在线测量或其他自动化工序。

如果没有 CAD 模型，Verisurf 软件的用户还可以在扫描的网格上添加 MBD。“因此，当你扫描零件时，我实际上可以点击网格的一个表面并拉出一个厚度。”他说。2021 年 11 月，Renishaw 和 Verisurf 签订了一项协议，北美的公司可以直接从

Renishaw 获得 Verisurf 坐标测量机软件。

制造工程师最了解自己

Zeiss 的 Lowen 提醒说，虽然自动化确实发展迅速，但制造商在这个过程中仍然需要宝贵的人力投入。

Lowen 说：“根据我们的经验，现实生活中存在着太多的工程变量，极大提升了自动化的实施难度。我们确定您仍然需要有一个人类工程师进行把关，来判断‘为什么这个形状超出了公差，这实际上是出了什么问题，我们如何来纠正它’。”

他说，刀具磨损是比较容易理解的原因之一，但它很少是一个尺寸超出公差的原因。如果刀具磨损是导致尺寸超出公差的唯一原因，那么 Lowen 表示自动化就简单地多了。但现实情况是，一个零件不符合规格的原因还有很多，他说。

“也许夹具扭曲了，零件或夹得不够紧。也许工具在一个轴的切割过程中出现了不一致的偏转，或者毛坯材料超出了公差。”他说，“不管是什么，这就是工程师上学的目的，即如何制造更好的零件。”

进一步阻碍自动化解决方案的工程回报的是目前制造商的趋势，即更短的运行时间和更高的零件多样性。

“你也许可以和一个汽车供应商说，‘在未来的 7 年中你都要生产这个零件，所以要对其进行认真设计。我们可以降低生产循环，因为相同的零件你可能需要生产十亿个。’但我们的许多客户都在生产小批量的产品。”他说。

Zeiss 提供了 Lowen 在他假设的汽车



Renishaw 的 Reporter 软件将测量数据输送到 Renishaw Central, 这是一个制造数据平台, 其中信息包括了机床状态、警报和来自机床测头和对刀仪、Equator 测量系统和坐标测量机的测量结果。(图片由 Renishaw 公司提供)

供应商例子中使用的那种工程解决方案。但对于那些运行时间较短、零件种类较多的客户, 该公司还提供了 PiWeb, 这是一种工程工具, 不仅可以帮助制造工程师分析和确定哪些零件不符合公差要求, 还可以为他们提供工具来确定原因。

“如果一个零件超出了公差, 制造工程师通常是最接近问题答案的人, 他们开始假设这个零件为什么超出公差, 他们需要的是支持假设的证据。” Lowen 说, “PiWeb 允许他们在零件数据库上进行搜索, 具体查看机床、日期和时间或批号, 还具有过滤不必要的信息以及进行趋势统计等功能。然后, PiWeb 为他们提供了很好的可视化工具——不仅是数据, 还有显示尺寸和坐标的零件本

身, 让他们知道机床的哪个轴可能需要纠正。” PiWeb 直接从 Zeiss 的计量软件 Calypso 获取数据。然而, 如果数据来自另一个计量软件, 那么 PiWeb 可以也读取通用的文件格式, 包括 QDAS、DMO 或 QIF, Lowen 说。

Lowen 了解到, 在该行业中, 不管是检测还是机床校正, 都要朝着更加自动化的方向发展。他说, 这些将被更广泛地接受, 因为它们可以更容易和更快速地进行实施。为此, Lowen 和他的同事们肯定会立项更多的“科研项目”。

www.capture3D.com

www.renishaw.com

www.verisurf.com

www.zeiss.com/metrology

潜心研究测量学 Diving Into Metrology

奥运会跳水动作的评分标准是执行力和难度等因素。当训练有素的运动员在空中展开并执行穿透入水动作时, 几乎没有任何水花, 除了入水声以外, 没有其他声音。这就是纯粹的跳水涅槃。同样地, 制造商也在寻求这种启动过程自动化的技巧。追求的是找到一个不会在整个生产系统中产生冲击波的进入计划。换句话说, 工厂自动化要有最少的水花。

检测过程的熄灯计量是自动化的一个自然切入点, 因为它被证明比其他生产操作的实施破坏性更小。由于类似的检测任务通常可以在多个检测系统中进行管理, 如三坐标测量机 (CMM), 因此集成路线图往往更加精简。在每个单独的测量系统的实施和测试过程中, 都有替代的工作路径。换句话说, 假设工厂有一个以上的多用途检测系统, 那么在整合计量自动化技术时, 所有的零件检测操作就不必停止了。

同样的情况在机床上并不存在, 因为它们通常是制造商的产品不间断生产所必需的专门任务而设置的。检测往往是产品从设计到制造的工作流程之外的唯一功

能。然而, 检测可以“看到”制造过程中的每一项功能。因此, 在生产每个阶段采用熄灯技术进行零件检测, 可以让制造商学到很多关于在其他操作中应用熄灯策略的经验。

精密航空航天零件制造商 Alloy Specialties 公司已经部署了由海克斯康制造智能部门开发的新型机器人质量检测技术。Tempo 系统是专门为帮助制造商轻松实现自动化而设计的, 不会造成生产中断或大量的一次性投资。该零件装载系统有一个直观的界面, 引导工人排队进行多项检测工作, 并对被拒绝的零件进行分类, 同时还可以操作 CMM 设备。

该公司在新的机器人系统上每周七天全天运行对几个高需求的零件测量。因此, Alloy Specialties 公司在减少积压、提高产能的同时, 能够释放出操作人员和其他 CMM 设备, 以提高劳动力效率方面取得了重大影响。随着程序的修订, 熄灯计量一直是 Alloy Specialties 公司推动其流程自动化的关键因素, 实现了 50% 的质量检测速度。对计量自动化的首次探索使该公司能

够降低成本并满足对其服务的更多需求。

海克斯康公司也是一家高精度 CMM 的制造商。在他们罗德岛的工厂里, Tempo 提供自主测量, 而不受干扰, 并自动识别超出公差的零件。在业务起伏期间, 即使他们自己的 CMM 操作员无法工作, 工厂也能保持产出。

智能制造技术在实现更高的效率、生产力和流程创新方面大有可为。然而, 至关重要, 这种转变不需要对制造商的工作流程进行全面的重新设计。通过在质量流程自动化方面进行小规模增量投资, 制造商可以解决眼前的挑战, 并为更广泛的进入做战略准备, 以产生最少的水花。



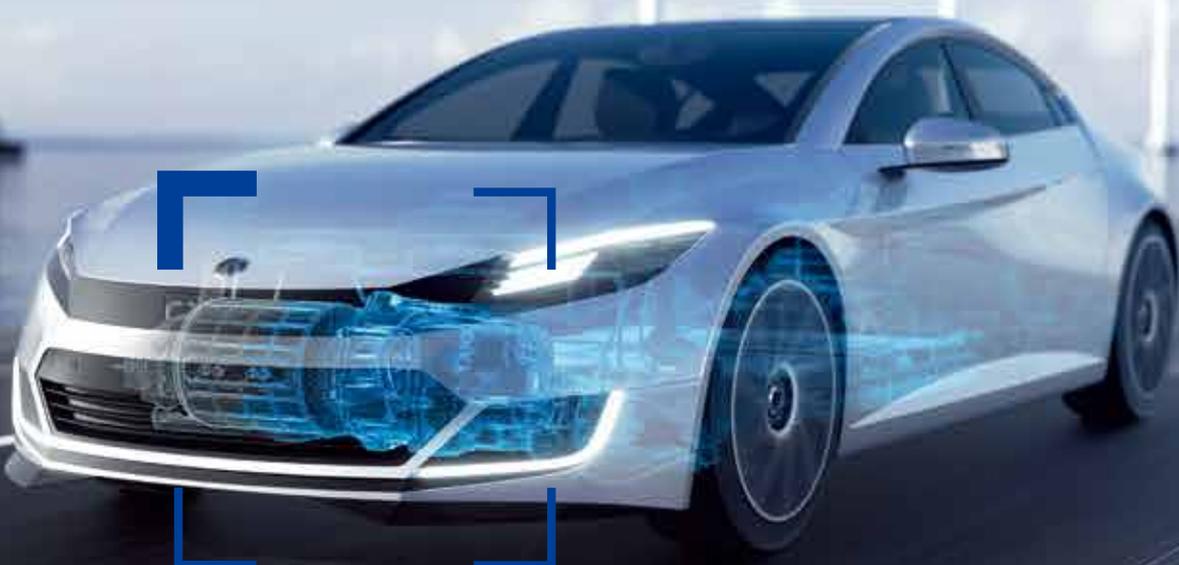
Jonathan O' Hare
User Experience Strategist,
Hexagon's Manufacturing
Intelligence division

From energy to eMotion

蔡司新能源汽车解决方案

ZEISS

Seeing beyond



蔡司新能源汽车解决方案提供蔡司产品线中的高精设备，为电动汽车各个组件提供独特的整体质量检测解决方案：电池、电控、驱动电机和变速器 – From energy to eMotion

CIMT 2023 第十八届中国国际机床展览会

蔡司敬请您莅临我们的展位：**W3-A211**

时间：2023年4月10日 – 2023年4月15日

地点：北京中国国际展览中心（新馆）北京市顺义天竺裕翔路88号

全国售后服务热线：400-686-9906
全国售后服务E-mail：imthot.zo@zeiss.com
蔡司中国工业质量解决方案官方网站：<http://www.zeiss.com.cn/imt>
蔡司中国工业质量解决方案网上商城：<http://cn.probes.zeiss.com>



理想的界面 The Ideal Interface

技术工人短缺的时代，使机床控制器更快、更强，尤其是更友好已变得至关重要。

Fagor 公司在其 HMlelite 控制界面中采用了 HTML 5 编程语言。据该公司称，这一变化将使许多高级功能成为可能，使定制变得极为容易，并代表了“机床界面的未来”（图片由 Fagor Automation 公司提供）

有一天，为数控机床编程将像上传带有产品制造信息的 CAD 模型一样容易。

机床的控制将使用人工智能（AI）来分析零件的几何形状和材料特性，选择正确的切削刀具，应用适当的进给和速度，验证是否会发生碰撞，其自我生成的刀具路径既不会过加工也不会留下任何未切削的材料。在加工中，它将自我监控整个过程，根据需要调整参数并更换切削刀具，始终确保零件在 GD&T 规定的公差范围内。如果出现它自己无法解决的问题，控制装置将会发出停机指令，耐心等待人类主人的帮助。

这种未来的数控系统将自主地执行这些功能，就像每天把工程师带到工厂的自动驾驶汽车，装载卡车和清洗零件的机器人，或无数其他即将普及的人工智能技术一样。

在那令人振奋的一天到来之前，人类必须继续以传统的方式进行编程——通过 CAM 软件、对话式编程系统，或在机器上一个一个字符地打入 G 代码。好消息是，这些方法中的前两种正变得越来越容易，能力也越来越强，而即使是后者也变得不那么痛苦了，因为控制界面的升级使机器操作起来就像给亲密的朋友发短信或访问你

喜欢的网站一样简单。

在控件中冲浪

让 Harsh Bibra 最兴奋的是这最后一项活动背后的技术。Bibra 是位于伊利诺伊州 Elk Grove Village 地区，Fagor 自动化公司的北美区总经理，他解释说，他和 Fagor 公司的其他人在过去几年里一直在开发 HMlelite，这是一种“可扩展、可移植、可定制和可互动”的控制界面，由一种甚至许多学龄儿童都熟悉的编程语言驱动，即 HTML 5，互联网的语言。

Bibra 说：“任何年轻人都能够立即掌握它，鉴于技术工人的短缺和将下一代带入行业的需要，这成为了我们的工作目标之一。”

顾名思义，HTML 5 是无处不在的超文本标记语言标准，即 HTML 的第五个也是最后一个版本。万维网联盟（World Wide Web Consortium, W3C）表示，HTML 使网络开发者能够“用标题、文本、表格和照片发布在线文档；通过超文本链接检索在线信息；为与远程服务的交易设计表格；并在其文档中直接包含电子表格、媒体剪辑和其他应用程序。”简单地说，你在互联网上所看到的東西，都要感谢 HTML。

但是，为机床编程和制造零件与构建网页有什么关系？没有，至少现在还没有。然而，通过开发一个几乎任何人都可以轻松操作的控制界面，Fagor 为机床制造商和最终用户提供了一个强大的工具，Bibra 认为这是机床界面的未来。“基本上，HTML 5 使我们的客户能够使用现成的工程师，在基本不用培训的情况下，非常迅速和容易地修改或直接创建一个全新的界面。”

他还指出，HMlelite 目前是一种选择，该公司的标准界面产品仍然存在。然而，对于那些寻求极端灵活性的人来说，具有 HTML 功能的控制器给了用户一些耐人寻味的能力。医疗设备制造商可以用它来制造“适合外科医生的”机床。汽车制造商可以很容易地根据特定的大批量应用定制界面，而一家全球制造公司可能会在其数控设备群中增加地理标记，方便其从任何移动设备进行安全远程监控以及进行类似的位置感知功能。

Bibra 说：“在这些例子中，操作工程师的需求和技能是完全不同的，这就是为什么根据独特的环境定制控制的能力是如此重要。也就是说，你所有的关键技术仍然会驻留在数控系统内；所以基于



对轴的名称感到困惑，或者哪边是正向，哪边是负向？现代数控系统甚至简化了机床操作的最基本组成部分。
(图片由 FANUC 公司提供)

HTML 5 的人机界面，或 HMI，不需要连接到互联网或云端就能发挥作用。”

清晰的文本

位于伊利诺伊州 Schaumburg 市，Heidenhain 公司机床业务开发总监 Gisbert Ledvon 也认为需要更方便的定制。他说：“我们最新的控制器 TNC7 在用户友好性方面更上了一层楼。在这里，操作员不仅可以决定他们希望展现在屏幕上的外观和功能，而且还可以在机床上直接以图形方式对零件进行编程。市场上没有任何其他控制装置能与之媲美。”

但是其实，自从麻省理工学院 Servomechanisms 实验室的 Francis Reintjes 和 Douglas Ross 首次推出 APT (自动编程) 以来，具有图形化编程能力的对话式控制器就已经出现了。

距离实验室的 Francis Reintjes 和 Douglas Ross 首次推出 APT (自动编程工具)，已超过 60 年了。然而，Ledvon 指的是一种与通过本文描述进行自我编程能力相当的能力，这种能力只需要一个实体模型就可以生成加工代码。更重要的是，生成的程序摒弃了 G 代码，这种过去几十年来行业标准的数控编程语言。

Ledvon 描述了一种控制器，它接受 CAD 文件就像在其触摸屏上绘制的自由形状一样容易。在后一种情况下，操作员可以用手指勾画出圆形、直线和其他零件的几何形状，为它们指定尺寸值，完成后按下按钮，开始编程。他说：“我第一次看到它时，我完全被震撼了。控制器用 Klartext (一种人类可读的语言) 为你编写

Type	Tool name	ST	D	H	Length	a	N	1	2	M
2		1	1	0	4.0000	0.4724	4	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	.375 SPOT/CHAMFER	2	1	0	5.5000	0.3750	90.0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	.750 4FL CARBIDE EM TICN	1	1	0	3.5000	0.7500	4	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	KSSM45_1_970_3FL	1	1	0	4.8060	0.0010	3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	KSSM45_1_970_3FL	1	2	0	4.8060	1.9700	3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	.250 SPOT/CHAMFER	1	1	0	4.5000	0.2500	90.0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	CounterSink	1	1	0	10.0000	0.7870	0	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	1/4-20 SPIRAL POINT PLUG	3	1	0	6.8249	0.2500	20.0000	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	.500 DIA 4 FL CARBIDE EM	1	1	0	4.1507	0.5000	4	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	.750 DIA 3 FL CARBIDE EM	1	1	0	3.5000	0.7546	3	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	7 (.201) DRILL	1	1	0	5.5000	0.2650	118.0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Sinumerik One 的人机界面能够帮助机床用户以图形的形式快速、轻松地识别刀具。(图片由 Siemens 公司提供)

整个程序。你可以放大缩小，进行修改并在屏幕上进行模拟，直到一切都达到你想要的效果，然后再进行加工。”

控制构建器在其他方面也简化了编程过程。例如，典型的 G 代码程序可能使用几十甚至几百条命令来完成一个特定的操作，而 Heidenhain 的 Klartext 可能只用一行代码就能完成同样的事情。

Ledvon 还指出，由于其浓缩了长度，这些多功能命令也降低了程序的排故障难度。“我们推出这样的高级功能已经有一段时间了，与之同时，我们也在不断的对其进行扩展。”他说，“最近的一个例子是 OCM，优化轮廓铣 (optimized contour milling) 的简称。这个功能允许操作者交互式地对余摆线刀具路径进行编程，模拟和干涉检测。此外，只需按一个按钮就完成整个轮廓的倒角，或者只需要移动一个滑块，就可以根据材料、切削刀具和你希望加工零件的公差要求自动确定完美的进给和速度。”

伸出援助之手

自动机床编程并不新鲜。Sodick 和其他电火花 (EDM) 加工厂家在其控制系统中使用“模糊逻辑”已有几十年历史了。在这里，操作员输入所需的表面粗糙度、电极磨损率、加工速度和其他变量的值，然后控制装置就能够自行判断什么操作参

数能最好地实现这些目标。Ledvon 刚刚描述的互动控制功能也不是特别新鲜，尽管它们显然比以前强大得多。

对话式编程也是如此，它在模糊逻辑之前十年左右就已经在行业内首次亮相了。位于密歇根州 Rochester Hills 地区，FANUC 美国公司 FA 工程总监 Paul Webster 指出，FAPT--FANUC 的 APT 版本 -- 已经被 MANUAL GUIDE i 所取代，该公司的网站将这一控制选项描述为“一个用户友好的对话式编程平台，使其能够在无需了解 G 代码的前提下，于车间内轻松创建零件程序。”

然而，许多 CAM 系统也是如此，这就产生了一个问题：对话式编程是否已经成为了夕阳行业？一点也不，Webster 说：“CAM 系统和笔记本电脑现在已经很便宜了，几乎任何人都能买得起，所以许多制造商已经走了这条路，但对于工作车间、工具和模具制造商以及其他面向一两个特定项目的环境的制造商来说，MANUAL GUIDE i 仍然相当受欢迎。”

不管是不是对话式编程，Webster 指出，新型的 FANUC 控制器的用户界面都跨越了传统的、仅有 G 代码的界面和那些图形驱动的界面之间的界限。“我们的 30iB 或 0iF 比传统的控制器更加以操作者为中心。”他说，“两者都有我们的 iHMI 界面，这有助于引导操作员完成日常任务。

例如，当用户为穿线周期输入数值时，控制器会提示他们，而且比以前更加图形化，更易用。”他补充说，推动更高的可用性在很大程度上是由于持续的劳动力紧缺，以及适应智能手机应用程序和浏览器界面的年轻人进入了劳动力市场。但尽管如此，FANUC 的控制装置仍然是向后兼容的，那些习惯使用几十年前的 16B 或更早的控制装置的老手，拿起当前型号的 30iB 时也同样得心应手。

关于定制，Webster 斯特提到了 FANUC 的 FOCAS API（应用编程接口），该接口目前处于第二代。有了它，机器制造商可以修改控制屏幕，编写软件接口，与第三方系统连接，并从 FANUC、MTConnect 或 OPC 等兼容品牌的数控设备中收集数据。“FOCAS 支持这些和其他软件开发功能，可以使用 C++、C#、Visual Basic 或任何其他你想使用的语言进行编程。此外，iHMI 本身是非常可定制的，所以我们的客户在互操作性和界面修改方面有着很多选择。”

一切为了团队

Jim Kosmala 肯定了对话式编程的必要性，至少在涉及到刚才描述的“一对一”的情况下是这样。不过，对于更高的产量或更复杂的工作，这位北卡罗来纳州 Charlotte 市，Okuma 美国公司工程和技术副总裁认为，需要以 CAM 系统作为先决条件。“我们的 Advanced OneTouch，或称 AOT，对面向单一工作的车间来说是很好的，但坦率地说，人类的大脑无法同时处理好几个轴。这就是为什么任何想要充分利用其五轴加工中心和多任务车床的能力的人，一般都会进行离线编程。”

但是离线和对话式也并不矛盾。像许多这样的编程系统一样，AOT 可以在 PC



Sinumerik One 的人机界面能够帮助机床用户以图形的形式快速、轻松地识别刀具。(图片由 Siemens 公司提供)

上使用，也可以在机床上使用。就这一点而言，许多数控系统现在支持大量基于 PC 的软件应用，Okuma 公司的机器控制就是其中之一。在过去的两年里，这被证明是幸运的，因为面对 COVID 相关的封锁和旅行禁令，各地的工厂都在努力提供在线支持和培训，这导致 Kosmala 的团队利用了我们许多人在新冠疫情期间熟悉的解决方案：Microsoft Teams。

他说：“因为我们的 OSP 控制装置在 Intel 芯片上运行，使用 Windows 操作系统，它们支持大多数基于 PC 的软件包。”因此，当我们有一个经销商去年年初在墨西哥的一台机器出现问题，而我们由于旅行限制不能去那里时，我们告诉他们将 MS Teams 直接安装到 Okuma 机床上。然后我们在 Charlotte 的一位电气工程师就能够远程连接，诊断错误，并让他们迅速恢复运行。不需要坐飞机，不需要租车或酒店费用，而且停机时间极短。每个人都喜欢它，特别是客户。”

此后，MS Teams 在美国 Okuma 公司找到了一个更永久的解决方案，即培训和指导客户解决应用问题。事实上，这家机器制造商已经转变了思路，他们正在邀请客户通过互联网参加 MS Teams 的虚拟编程和维护课程。Kosmala 补充说：“正如他们所说，必要性是所有发明之母，在这种情况下，COVID 促使我们利用 MS Teams 直接进行机床的远程控制和诊断。事后看来，其实我们本可以在 COVID 之前就使用这些工具的。”

当被问及 Okuma 公司的下一步计划时，Kosmala 说：“和其他人一样，我们也在不断开发新技术，并在努力使我们的产品更友好、更强大。这项工作的一部分将集中在基于人工智能，如我们的主轴人工智能、进给轴人工智能、加工导航和其他自适应控制，以及闭环加工功能、优化切削和数据收集功能上。”

本土数字化

最后，同样重要的是位于伊利诺伊州 Elk Grove Village 的 Siemens Industry 美国公司，其虚拟技术应用中心经理 Chris Pollack 强调了数字双胞胎的重要性及其在加工模拟中的应用。“几十年来，我们一直在制造先进的机床控制器，我们的最新产品 Sinumerik One 是该技术的佼佼者。

它的主要目的是最终将数字世界和物理世界合二为一，让制造商在切削第一刀之前就能够完成构思、设计、测试和虚拟零件加工。”他说。

对于那些已经投资于第三方刀具路径仿真软件的人来说，这些功能可能看起来并不新鲜，然而 Pollack 说这两者就完全不同。“我们的数控系统中有一个大脑，而三方软件公司没有，也永远不会拥有。通过拥有这个大脑的数字版本，你可以获得最接近、最准确的物理机器的表现，当你按下循环启动按钮时，你会非常清楚的知道它将会做什么。这确实是你能实现这一目标的唯一途径。”

正如 Pollack 所解释的那样，这个虚拟大脑可能存在于控制器的 PC，编程办公室的 PC，或者是坐在数控车床或加工中心旁边的 PC 中。无论在什么地方，无论数控程序是如何产生的，其用户都有能力对整个加工过程进行建模。他们可以加载虚拟虎钳和刀柄，检查干涉，验证探测程序，并确保有关设置的一切都能按预期工作，而这一切都能够在机床忙于制造零件时完成。

这又是如何使编程或机器操作更友好呢？可能平时你感觉不到，除非你站在崩溃的机器面前，而数字孪生系统就是为了防止这种情况发生。它还有助于增加主轴的正常运行时间，并使所有参与者有机会提前改善加工过程中的一切。虽然看起来 Pollock 似乎在反对对话式控制，但不要被表面骗了——该公司在 2010 年就交付了经过改进的控制和以用户为中心的界面，并配备了图形驱动的、易于使用的加工循环。

他说：“我们在发布 Sinumerik Operate 人机界面之前就已经认识到，劳动力的技能水平正在下降，我们必须摆脱那些公认的高度复杂的，许多人都认为其难以使用控制。今天，我们的控制是完全对话式的。你甚至不知道最简单的 G 和 M 代码就可以操作一切。事实上，我们开发控制的方式与人们日常生活中的操作习惯非常相似，即智能手机、应用程序和触摸屏手势。一切就是这么简单。”

www.fagorautomation.com.cn

www.shanghai-fanuc.com.cn

www.heidenhain.com

www.okuma.com

www.siemens.com/cnc

G160

双工位高效蜗杆砂轮磨

双工位工件
更换时间
仅需1.5秒！



G 160 是双工位高效蜗杆砂轮磨齿机。适用于大批量齿轮的高精度高效稳定生产，双工位工件更换时间仅需1.5秒！切削速度80m/s

面向工业4.0的机床软硬件配置，全面对机床各轴状态进行24小时监测并做预估性分析

广泛适用于新能源齿轮产品，各种乘用车变速箱齿轮，发动机齿轮和减速器行星轮的高精度，高效，高稳定性加工



埃马克(中国)机械有限公司
地址：太仓市陈门泾路101号工业园区2号厂房
邮编：215400·电话：0512-53574098·传真：0512-53575399
网址：www.emag.com·邮箱：info@emag-china.com



新浪微博



官方微信



洛克希德·马丁公司的技术人员使用 Scope AR 的 WorkLink 平台与 HoloLens 2 相结合，确保猎户座太空舱的组装质量。（图片由洛克希德·马丁公司提供）

装配中 AR 从概念性验证 发展到黄金阶段

AR in Assembly Graduates From Proof of Concept to Prime Time

一个关键的驱动力是 HoloLens 2，这是微软的第二代混合现实智能眼镜。

今年，加拿大的一家食品加工厂经历了德国制造的装袋机和澳大利亚制造的 X 光机的停产故障。如果没有增强现实 (AR) 技术，这些维修将花费数周时间，损失达数十万美元。Kognitiv Spark 公司首席执行官 Yan Simard 说，相反，在每个案例中，原始设备制造商的对标专家通过计算机、免手持视频技术和混合现实眼镜与一线工人联系在一起，能够帮助现场技术人员识别问题，并在 30 分钟内使设备重新上线。

"在混合现实设备出现之前，专家必须前往现场，而且可能需要花费几天或几周时间。"他说，"现在有了新冠疫情，有时候出门都很难。能够完全远程排除故障绝对是至关重要的。"

Kognitiv Spark 公司生产的 RemoteSpark 软件，允许佩戴智能眼镜的远程工作人员建立低带宽、安全、警示性和免手持的视频和音频通话。

支持者认为自 2019 年以来，装配中的增强现实技术已经从概念验证转向了黄金时段。一个关键的驱动力是 HoloLens 2，微软的第二代混合现实智能眼镜。

"AR 的采用肯定有了飞跃式的增长，特别是在过去的 18 个月。"Scope AR 公司首席执行官 Scott Montgomerie 说。其公司生产了 WorkLink，这是一个结合了 AR 工作指示和远程 AR 协助的平台。

随着 AR 技术的改进，遇到设备故障的工人可以戴上 HoloLens 2 头盔，给世界上任何地方的专项专家打电话，并开始解决故障。

计算机软件可以看到一线工人所看到的東西。专家可以拖放 2D 和 3D 文件，向工人展示全息图和动画，以说明如何进行必要的维修，Simard 说。

他说，在过去 18 个月中的一个变化是，现在制造业的运营方正在要求我们提供相关的技术。



Kognitiv Spark 公司首席执行官 Yan Simard 与工作人员讨论该公司专有的远程技术支持软件。
(图片由 Kognitiv Spark 公司提供)



技术人员在一家汽车厂演示独创的微软 HoloLens 的使用。 (图片由微软公司提供)

在过去, IT 部门通过调查并购买类似 RemoteSpark 这样的工具, Simard 说。"IT 部门可以评估这项技术,但他们必须说服操作部门把它戴在工人的头上。而在过去的 12-18 个月里,和我们联系的是运营团队自己。现在,它不再被当作概念性的验证,而是会真正在车间使用。"

Montgomerie 说,他们的客户告诉 Scope AR,他们已经能够减少 90% 以上的劳动力,且诊断问题的速度提高了 50%,并将第一次解决问题的指标提高到了 100%。

客户告诉 Kognitiv Spark,他们已经能够节省 75% 以往用于专项专家的旅行预算。

"制造商只要使用几次,就会发现其显著的投资回报率,"Simard 说。

"我们已经让顾客和经理们了解到 AR 能为企业带来的可行性和指标,"Montgomerie 说。

下一代智能眼镜大有可为

微软混合现实主管 Greg Sullivan 说,2015 年发布的第一代 HoloLens 立即引起了一些制造商的注意。

"人们喜欢把物理世界和数字世界用 3D 技术结合起来的想法。"他说,"我们希望能制造业中打开新的窗口。"

他说,尽管早期使用者对这种可能性很感兴趣,但他们也注意到了一些包括佩戴不舒服、重心不平衡、缺乏易用性、用户需要移动他们的头和脖子进行追踪以及

视野小于预期等问题。

一名用户不喜欢不平衡的重量和夹在他们头上的环,Sullivan 说。

"它就像一台戴在头上的 Windows PC。"他说,"它有点前重后轻——它没有一个完全居中的质量——这可能会引起不适。"

Sullivan 说,致力于改善舒适度的团队通过许多舒适度指标来进行衡量,他们开始设定了 2 倍的改善目标,最终实现了 3 倍的效果。

HoloLens 2 更为平衡且重量较轻,并且正好在眼镜上边,不影响佩戴眼镜。

与第一代产品相比,HoloLens 2 "感觉更为自然",Montgomerie 说。连续几个小时佩戴第一款产品"真的很尴尬"。他回忆说,"现在的重量更轻了,且更平衡了。新的感觉要轻便得多。感觉就像戴了一项稍重的棒球帽。"

另一个显著的改进是在整体上的使用便利性。

第一代 HoloLens 通过用户的头颈部运动和所谓的单手离散手势实现了与全息图的互动。

HoloLens 2 则能够通过手势追踪直接操纵全息图,还支持眼动追踪和语音命令作为额外的输入模式。Sullivan 说。

"HoloLens 2 可以用你的声音进行导航,"Montgomerie 说。"它有非常强大的手势追踪功能。如果你盯着一个按钮足够长的时间,它将为你点击它。HoloLens 2 从一个基本的技术性设备变成了一个非常

好的用户体验性设备。"

Sullivan 说,HoloLens 2 的视场也扩大了 2.5 倍。

Montgomerie 说:"想像一下戴双光镜与隐形眼镜的区别。"

HoloLens 的第一个版本计算能力是自带的,Sullivan 说,这使得它不可能,例如,渲染一个 1 亿多边形的 CAD 文件。

而 HoloLens 2 是在基于云的软件上运行的。

他补充说,这一变化大大提升了计算能力,使用户能够处理更大、更高分辨率的文件。

AR 在复杂的使用案例中大放异彩

任务越复杂,使用效果就越好。

"航空航天装配的本质和复杂性使得增强现实成为知道必须做什么的机械工程师和知道需要怎么做的一线技术人员之间最有效的沟通方式。"Montgomerie 说。

他说,在航空航天和国防相关部门,以及在生命科学和医疗设备领域,有很多此类案例。

在汽车装配领域,入职和培训的应用正在兴起,这取代了原本厚厚的培训材料。他说,使用增强现实技术来培训新员工更加有效,因为工人可以看到他们应该做什么,而不是阅读相关内容。"当一个工人在看一个汽车发动机时,你可以立刻在上面叠加一个发动机的图示。"

Montgomerie 说,由于用 AR 进行培



在 UNB 弹道和机械测试实验室里，一位穿着 Trimble XR-10——重新设计的微软 HoloLens 2——的 Kognitiv Spark 远程技术员正在与异地的专项专家进行交流。（图片由 Kognitiv Spark 公司提供）

训更加容易，而且更倾向于受训者习惯的学习方式，客户告诉 Scope AR，他们将员工的留用率提高了 40% 以上。

或者想象一个数据中心，有许多列机器，它们的电线向多个方向延伸，现在必须以一致的方式进行安装。有了 AR 视觉叠加技术，能够显示出什么部件准确地放在哪里，什么电线需要拉动，这变得非常有用。

Montgomerie 说：“我们开始看到一些非常高端的、由云驱动的软件的出现，可以用来解决真正的工业用例。”

新冠疫情的影响体现在两个方面

Simard 说，这场新冠疫情说明了，我们迫切需要一个能够将专项专家和一线技术人员联系起来的纽带。

另一方面，新冠疫情使销售人员无法面对面地展示技术。

“所有公司都说，‘我们一直都知道需要用更先进的方式来支持工人。但总是明日复明日，’”他说，“为了能够维持运营，他们不得不开始真正寻找新方法。新冠疫情加速了这种变化，迫使他们这样做，这已经没有回头路了。”

挑战依然存在

Montgomerie 和 Simard 说，关键挑战是获得最初的肯定。他说，一旦制造商试用了该系统，他们就会准备购买更多的 AR 技术。

“如果我们能让某人花一个月的时间来使用它，他们肯定会买更多，”他说。

另一个挑战是安全问题，特别是因为 HoloLens 2 现在已经连接到了云端。

“当有一个摄像头对着你正在工作的东西，它能够比其他任何东西都更有效地捕捉工作证明数据，” Montgomerie 说，“你还可以处理 CAD 模型，这里有一些公司最重要的知识产权。公司希望确保这些资产和信息是安全的，是在一个加密的、完全合规的解决方案里，比如 Scope AR 的 WorkLink。”

我想获取 先进机加工培训

免费订阅



ME中国：先进的机加工技术内容独家授权于业内顶流刊物 Manufacturing Engineering。Advanced machine shop engineering content licensed from Manufacturing Engineering, the smartest source in the business.

经审核的高层人员可免费订阅本刊。
Subscriptions in China are **FREE** to qualified engineering managers.

请将以下信息发送给我们。Email us your

- 姓名 Name
- 职位 Job Title
- 公司名称 Company Name
- 公司地址及邮编 Company Address
- 公司网址 Company Website

并注明“我想订阅ME” subs@icgl.com.hk
或登录 www.ChinaEngineeringMedia.com

再见，黑匣子

Bye Bye Black Boxes

设备操作员可以充分信任和验证带有物理信息的人工智能。

一家需要优化烘干机性能的农业能源乙醇制造商采用了罗克韦尔自动化公司的物理信息人工智能 (AI) 模型。闭环控制器将干燥负荷从工厂的干燥器转移到蒸发器，并进行了定制化处理以减少热损失，其结果是：产量增加了 12%，能源效率提高了近 10%，罗克韦尔公司说。

含有物理信息人工智能模拟器，如物理信息形成的神经网络 (PINNs)，正开始取代人工神经网络模型 (ANNs)，后者被认为是黑箱模型。与 ANN 模拟相比，物理信息模型能够产生更准确和更值得信赖的预测。

西门子公司数字产业软件公司技术创新总监 Herman Van der Auweraer 说，两种模型都是由数据所驱动的，但 ANN 需要大量的操作数据。

凯斯西储大学机械和航空航天工程系教授兼系主任 Robert X. Gao 说，人工神经网络模型也非常复杂，可能需要大量时间来获取基准数据。

"人工智能 / 机器学习 [ML] 模型缺乏透明度和可解释性，已被公认为是制造业广泛采用人工智能 / ML 的一个限制。他说："从本质上讲，制造业是基于应用物理原理和规律基础，将材料加工成工业或商业应用的有用产品。



"当你观察数据时，通常有你知道的关系，特别是对一个工程师来说更是如此。" 西门子软件公司工程服务部主任 Peter Mas 说，"这里有已知的物理学和未知的物理学。这就是物理信息形成的人工智能的工作方式。而不是仅仅把充分的数据关系作为一个黑匣子，你也可以在数据上施加一些物理方程，如 '能量守恒' 或更复杂的东西，如 '波状行为'，这样机器学习算法将在数据和物理学之间取得平衡。"

西门子软件公司工程服务部主任 Peter Mas 说，尽管有些人可能把神经网络描述为人工智能，但神经网络只是在已知数据点之间进行预测 (插值) 的一种非常聪明的方法。他说，但使用 ANN 网络准确预测数据范围以外的点的值 (外推法) 是不可能的。

Van der Auweraer 说，例如，像风力

涡轮机故障这样很少发生的事件没有被数据捕捉到，可能会导致错误的表述。

"没有一种神经网络技术可以在它从未出现过的领域进行预测。" Mas 说，"要做到这一点，你需要将物理定律包含进去，它将告诉你推断将必须遵循什么趋势。"

罗克韦尔自动化公司高级分析主管 Bijan Sayyar Rodsari 说，如果黑盒模型的数据太少，它将无法捕捉被建模系统的正确行为。

但是，简单地把更多的数据扔给一个黑匣子系统并不总是能够得出正确的答案。

他说，如果不防止过度训练，这样的系统就会抓住数据中的每一个异常点，无法做出准确的预测。关于异常情况，制造商往往没有机会收集大量的数据，他补充说，因为一旦发现异常情况，机器就会立即关闭。

Rodsari 说，由于缺乏数据和洞察力，使用黑匣子系统的制造商不会把机器一直

推到最大效率的“甜点”，而是选择在安全范围内避免犯错。

Rodsari 说：“你的纯数据驱动模型必然会被你投入的数据所制约。”

操作员也不会愿意在闭环系统中运行，他说。“如果操作员不理解模型在做什么，他们总是会对允许这个模型在闭环中运行的操作持怀疑态度。”

俄罗斯有一句谚语，“相信但核实”，对黑箱模型根本不起作用，因为验证建模系统如何得出其预测结果几乎是不可能的。由于没有验证输入和输出的能力，许多制造业的操作人员并不相信黑箱模型，而且有充分的理由，因为结果可能不准确。

Rodsari 说，确定初始处理是否正确的唯一方法是通过试验和错误验证。

这里有一个来自 Mas 的简单例子。如果一个先进的神经网络模型有数据显示 4 个苹果重 1 公斤，8 个苹果重 2.1 公斤，该模型可能会正确预测 6 个苹果的重量，因为 6 个属于它的已知数据点，是线性趋势的一部分。但是，如果询问 12 个苹果的可能重量（一个在其数据点之外的数字），ANN 模型将给出一个答案，但可能会是 5 公斤，或另一个偏离基准的数字，而不是更合理的预测 3-3.3 公斤。

“这些黑匣子模型已被证明是难以解释的，”Rodsari 说。“虽然对创建感兴趣的变量的匹配很好，但它们对解释这种关系没有帮助。这阻碍了那些必须将这些模型投入使用并对结果是否正确做出判断的人的能力。对于制造领域的大多数应用，你需要有能力说服操作人员，这种关系是有意义的，帮助他们有一个监测质量的手段，并防止做出对操作有损害的决定。

“你需要有能力对模型的性质提供一些可见性，以便操作者能够信任它。”

少即是多

同时，基于物理信息的人工智能模拟



“物理定律以一种非常浓缩的方式包含了巨大的信息财富，”西门子数字工业软件公司技术创新总监 Herman Van der Auweraer 说，“基于物理学的模拟方法正在使用这些物理学定律。因此，他们可以通过引入这些知识给人工智能系统一个极其有力的开端，而不是等待足够的代表性数据出现。”

可以根据明显较少的数据进行预测，因为它们使用的数据质量更高，这与机器方式和手头上的问题更为相关。

Gao 说，顾名思义，物理信息人工智能结合了相关数据、物理定律以及先前的知识，例如被建模的机器性能参数和规范。

“物理学定律以一种非常浓缩的方式包含了巨大的信息财富。”Van der Auweraer 说，“基于物理学的模拟方法正在使用这些物理学定律。因此，他们可以通过引入这些知识给人工智能系统一个极其强大的开端，而不是等到有足够的代表性数据出现时才会产生效果。”

Rodsari 说，有了这种编码的物理知识，包含物理信息的人工智能模型可以根据更少的数据进行预测。”他说：“我们希望建立对制造商有实时帮助的模式。

Mas 说，以物理学为基础的人工智能模型允许人工智能在过程中从数据中模仿大脑学习，并且可以随着更多数据的出现而得到改善。

然后，制造工程师可以修改和定制他们现有的结构和系统，使该模型适用于他们的工厂。

“当你观察数据时，你知道有一些典型的关系，特别对于一个工程师更是如此，”Mas 说，“这里有已知的物理学和未知的物理学。这就是物理信息形成的人工智能的工作方式。而不是仅仅把充分的数据关系作为一个黑匣子，你也可以在数据上施加一些物理方程，如‘能量守恒’或更复杂

的东西，如‘波状行为’，这样机器学习算法将在数据和物理学之间取得平衡。”

PINN 开始影响制造业

Van der Auweraer 说，第一批 PINN 应用正在具有复杂模型和关系的制造过程中体现，例如增材制造。

Van der Auweraer 和 Mas 说，其他早期采用者将是食品行业或医药加工行业，在这些行业中，复杂的流程可能会阻碍纯粹的模拟方法，而 PINN 方法中的人工智能可能会产生有希望的结果。

Mars 说，PINN 模型还可以补充或取代劳动密集型的实验室测试和设计，结合实验室测试的现有优势和基于物理的模拟的好处，用更少的实验室测试在更短的时间内准确设计新材料和产品。

灰盒被视为一种可能性

Mas 说，最大的挑战是今天的机器学习是由数据科学家完成的，他们用自己喜欢的数据科学语言编写脚本，而不是通过面向应用的低代码平台（如西门子目前在其 Simcenter 组合中开发的 ROM Building 应用程序）来提供给开发产品的工程师。

“你可以从通用结构开始，”Gao 说，“创新取决于工程师们创造性地进行修改以及去适应。”

Van der Auweraer 说，最强大的方法可能是在神经网络内结合物理学关系，补充该网络或作为神经网络内的一个特定层或结构。

这将把黑盒子转变为灰盒子。”这样一个网络可以从高质量的模拟开始训练。他说：“它可以包含内部物理关系，以获得一个更加凝练和强大的网络，它也将被更快地训练，并最终可以通过其生命周期中可能出现的任何数据进行进一步训练。



——凯斯西储大学的 Robert X. Gao

人工智能 / 机器学习 [ML] 模型缺乏透明度和可解释性已被公认为是制造业广泛采用人工智能 / ML 的一个限制。从本质上讲，制造业是指应用物理原理和规律，将材料加工成工业或商业应用的有用产品。

通过“测试机器的血液”来实现零停机

Go for Zero-Downtime Performance by 'Testing the Machine's Blood'

学习丰田北美公司在数据采集 AI 方面的经验。

在 2000 年代中期，位于肯塔基州乔治敦的丰田北美工厂的压缩空气系统平均每年崩溃一次以上。这导致该工厂的一些人想知道，利用机器学习和人工智能是否可以通过提供异常检测、故障识别以及最重要的是在故障发生之前预测即将发生的故障来解决这个问题。

压缩空气系统的非计划性停机当然意味着整个工厂都出现了问题。喷漆车间使用压缩空气为新车喷漆。该系统给气动工具带来了活力，在吹掉打磨物质和其他残留物方面，没有什么能与压缩空气相比。

在两班制的工作中，每 25 秒就有一辆成品车从工厂的三条生产线之一下线，如果压缩空气设施发生故障，那么后果将非常严重。

"如果线路发生故障，费用是巨大的。" 工厂的项目经理和电气主题专家 Mark Rucker 说，"因此，有一个很好的激励机制，让我们拥有一个好的、可靠的、稳定的公用事业。"

这个价值数百万美元的压缩空气系统由十几台英格索兰公司的离心式空气压缩机组成，每台压缩机都有小半卡车那么大。每台压缩机的末级叶片以 20,000 转/分的速度旋转，距离其外壳只有几分之一英寸。如果一个刀片的运行有一点不符合规格，并触及外壳，它就会被发生损坏，那么整台机器必须重建，而成本约为 10 万美元。

不过，刀片的晃动并不是碰撞的原因，而是产生的结果。

碰撞 -- 又被称为喘振或反向流动 -- 发生在某种情况下，导致从压缩机到管道的正常空气流试图逆转，管道中的空气被推回。

这种发生碰撞的频率、成本以及后果隐私促使丰田公司打电话给智能维护系统公司的创始董事 Jay Lee 寻求帮助。



对于 Mark Rucker 和他的团队来说，解决丰田北美工厂的喘振控制问题是一个巨大的胜利。

Jay Lee 是工业 4.0 曲线运动的领袖

在新千年伊始，在接到丰田公司的电话之前，Lee 是辛辛那提大学的一名工程教授，他设想将工厂里的所有机器连接起来，为智能维护提供数据。但在当时，使 Lee 的设想成为现实所需的大部分技术还不存在。

"20 年前，很少有人相信这是有可能的。" 已退休的 Lee 说，他现在是威斯康星州富士康科技集团的副主席和董事会成员。

在他的工业愿景中，机器就像病人，从监测机器的传感器中收集的数据提供了有关其健康的信息。专家们通过解释他们收集和预测的数据，得出预测。

"我说，'为什么不测试机器的血液？"

那么机器的血液是什么？"Lee 说，"数据。问题是，'你想得到什么数据？这取决于你想分析什么。我们需要了解背景和内容，并进一步制定看不见的未知数之间的关系模型。"

隐藏在数据中的是关于机器或过程的偏差行为的意义。解开这个意义就可以预测质量，确定机器或过程的稳定性，并防止潜在的故障。Lee 说："这正是今天工业 4.0 的意义所在。"

当然，"工业 4.0" 这个词直到 2013 年德国政府提出倡议时才被普及。

自 2006 年以来 没有发生失效事件

到了丰田后，Lee 和他的数据分析师团队与 Rucker 带领的一群熟练维修工人



自从 Jay Lee 和他的智能维护系统公司团队与汽车制造商的员工合作应用人工智能以来，丰田北美工厂的压缩空气系统在 15 年内没有发生过非计划性停机。

和工程师一起开始解决压缩空气系统问题。

但是，简单的问题掩盖了未来任务的复杂性。

"我们能在逆向流动问题导致崩溃之前预测它吗？" Rucker 说，"我们能否及时看到一些事情的发展，从而对其采取一些措施？"

通过 2005 年几个月的试验和错误，该团队收集并分析了其中一台压缩机的高保真数据，并寻找异常情况。有时，该团队会创造一个喘振或接近喘振的条件，这样他们就可以迫使机器开始表现出异常行为，并在数据集中看到这种情况所发生的异常。

最终，该团队的工作得到了回报。其成员发现，在第二阶段（压缩机运行的四个阶段中，从正常压力到每平方英寸 120 磅的压力或 PSI）出现了对于初期喘振状况的最佳预测数据。

"这背后的物理学是什么，为什么这是预测现象？" Rucker 说，"不知道，并不关心。我们只是看到，这可靠地预测了未来出现的喘振，而且是在几秒钟内能够预测到。"

下一步是在每个压缩机上安装一个差分传感器，并为中央控制单元创建一个机器学习算法。经过测试证实，只要第二阶段开始"摇摆"，压缩机就会开始出现退缩。

"每次我们测试它时，它都使我们远离麻烦，"他说，"自 2006 年以来，我们没有发生过类似的碰撞"。虽然压缩机喘振项目取得了成功，但另一个专注于预测压缩空气巨兽的轴承寿命的项目却失败了。Rucker 说，该团队无法找到足够可靠的维护数据并将其与机器运行数据配对，以得出任何有用的关联。

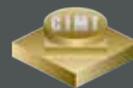
"这可能是关于研发的正确组合，"他说，"你尝试的东西，你不知道它是否会工作。如果有一半的时间你能拿回你的钱，那就是一种胜利。"

精确的。

有力的。

生产性的。

kapp-niles.com



大厅 W1
展位 A401



KAPP NILES

precision for motion

每隔一段时间，你就会发现一个可以支付其他一切费用的产品，如喘振控制。”

灵活性是关键

Lee 随后发表了一篇关于丰田公司项目的论文，并在 2013 年与智能维护系统公司的雇员 Patrick Brown 以及他的两名大学学生 Da-vid Siegel 和 Edzel Lapira 共同创立了 Predictrionics 公司。Brown、Lapira 和 Siegel 组成了 Predictrionics 公司的管理组。

就像丰田公司的 Rucker 向 Lee 寻求人工智能帮助一样，各公司也向 Predictrionics 寻求帮助，以实现其零停机时间的愿望。

“不同的客户通常处于不同的成熟度，”担任首席执行官的 Lapira 说，“我们有一些客户已经有了一个数据收集的结构。他们有一个数据湖，但他们不知道该如何处理这些数据。我们有一些客户也必须从头开始。”

拥有 50 或 60 年资产设备的客户必须在更早的阶段开始。

越来越多的客户与 Predictrionics 公司

“我认为这对于研发来说可能是正确的组合。”丰田北美工厂的项目经理和电气主题专家 Mark Rucker 说，“你尝试了一些东西，但你不知道它是否会成功。如果有一半的机会能够拿回成本，那就是一种胜利。每隔一段时间，你就会发现一个可以支付其他一切费用的东西，比如喘振控制。”

接触，他们都拥有传统的机器。而 Lapira 和他的同事们让他们去购买诸如加速计和传感器等部件。

他说：“这些是我们需要的不同的模数转换器，以便把这些数据拿出来。自 2013 年成立以来，Predictrionics 公司已经用 AI 解决方案帮助了 70 多家工厂，其中许多是财富 500 强企业。

Predictrionics 公司与一家半导体制造商合作，建立了一个虚拟计量预测解决方案，能够学习传感器和测量变量之间的关系。

由于半导体设备产生的数百个测量信号，该项目极具挑战性。

但有众所周知的统计方法可以来缩小

可能性的数量，Siegel 说。

他说：“除了这些方法，在过去的几年里，更多的是机器学习类开发的方法，这些方法包含分类回归算法，其中有一个内置的变量选择部分。他说：“这样就把它缩小到了前 10 个或 20 个或 30 个变量。然后你与客户合作，或利用你自己的知识来确定什么是最有意义的，以包含在软件和分析模型中。”

Predictrionics 公司可以从基于以前的经验中获得的知识，采用其基于模板的方法中进行应用，这样有助于降低成本。还可以基于公司的一个部门制定专门的解决方案，然后可以在内部进行扩展。”找到一个直接解决最关键问题的解决方案，

机器人也想要人工智能 Robots want AI, too

虽然车间里的机床在人工智能的影响下可以表现得更好，但机器人没有理由做不到这一点。

美国 FANUC 公司最近在其机器人控制器和机器人的视觉功能 iR-Vision 中增加了“AI 防错”功能，该功能使用机器学习（ML）进行零件检测。

有了防错功能，操作人员使用图像来训练 ML，以检查两种不同的情况——例如，是否存在焊接的螺母，是否接受或拒绝这样一个零件。

因为 iR-Vision 可以支持多达 27 台摄像机，防错功能可以在制造过程中的许多点上发挥作用。

“你肯定希望在为一个零件增加价值之前就确定其是否存在问题。”FANUC 公司机器视觉组的职员工程



Josh Person, FANUC 视觉集团的主管工程师，正在使用公司最新的“AI 防错”功能，该功能在其机器人上使用了机器学习。

师 Josh Person 说。

“通常，你可以在一个阶段看到一个错误，而下一个阶段可能覆盖它。”他补充说。

在设置过程中，操作员可以提出多

个工件的例子，并将它们分为两类——好的和坏的。如果例子不属于这两类，就会输出“未确定”。然后，未确定的例子可以被添加到改进的学习模型中。

www.shanghai-fanuc.com.cn

但也足够灵活，可以应用于其他问题的解决。” Brown 说。

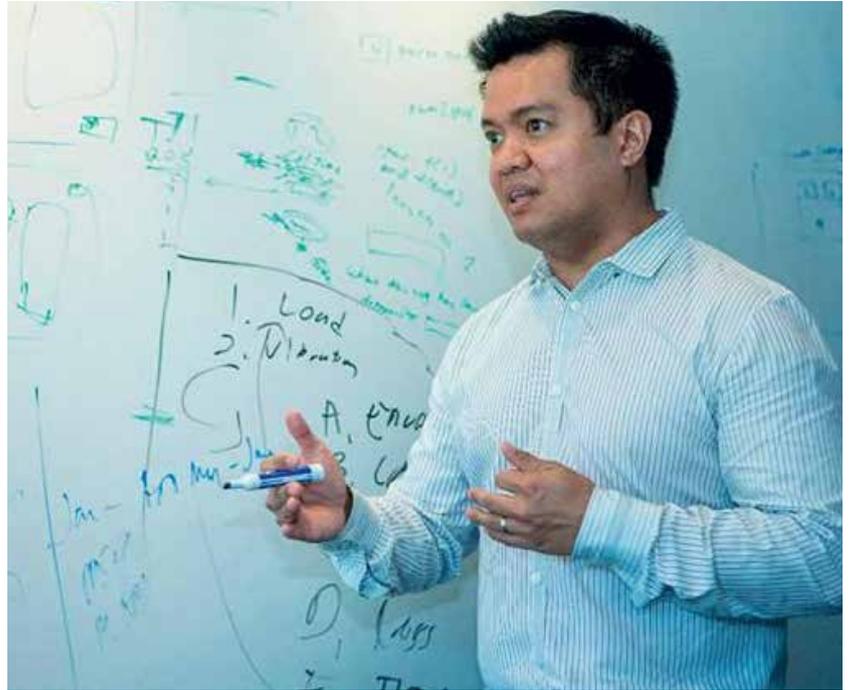
尽职调查 AI

像丰田公司为解决其压缩空气问题而四处寻找人工智能解决方案供应商的工厂，应该尽职尽责，找到合适的供应商。

Predictronics 公司的专家说，你首先要知道要问的问题是什么。

- 你的服务以前在哪里被使用过？
- 你的解决方案在减少停机时间或提高质量方面是否显示出对业务运营的明显改善？
- 你们的解决方案是否在我的行业中使用过？
- 你的团队是否拥有工业领域的知识？
- 你的解决方案能与传统设备一起工作吗？
- 你的解决方案能与各种传感器一起工作吗？
- 你的解决方案是否使用机器学习？
- 训练模型需要多少数据？
- 它是只需要健康机器的数据，还是需要退化或故障机器的数据来进行学习？

www.predictronics.com



Predictronics 公司首席执行官 Edzel Lapira 和他的团队与那些希望使用人工智能来保持工厂正常运转的客户合作。






源自创新

传承100年

北京机床展 2023年4月10~15日
摊位: E4-A315



泷泽机电(浙江)有限公司

314117 浙江省嘉兴市嘉善县姚庄镇群东路188号
电话: +86-0573-89103673 E-mail: bryan@takisawa.com.cn

先进的 CAM 提高了定向能沉积工艺的生产效率

Advanced CAM Increases Productivity in Directed Energy Deposition Processes

定向能沉积法依赖于 CAM 和计算机。

强大的 CAM 解决方案和包括后处理和模拟的精简工艺是实现定向能沉积 (DED) 解决方案商业化和进一步发展的重要因素。

提到增材制造, 我们很容易会想到粉末床聚变 (PBF)。与这种我们更熟悉的工艺相比, 定向能量沉积 (DED) 工艺有什么不同呢? 为实现更好的服务效果, 大多数工业应用都可由一种或另一种工艺来完成。两种工艺之间不一定互为竞争关系。PBF 工艺是立体光刻技术和增材制造技术的延伸。这两种技术最初用于塑料和聚合物, 近来也已应用于各种金属。DED 工艺可与传统焊接工艺自动化相媲美。

DED 应用通常涉及更复杂的几何形状, 趋向于多轴构建。保持能量沉积与零件表面垂直是构建成功的关键。除构建新组件外, DED 工艺还特别适于修复、修改现有的部件和模具。PBF 工艺在这方面效果不佳, 因为它不能与复合基板或起始板一起应用。而 DED 工艺在机床的助力下, 可实现焊接技术无法实现的精度和控制。

另一个挑战是找到日益具有挑战性的焊接作业所需的熟练焊工。拥有这种技能的工匠正在变

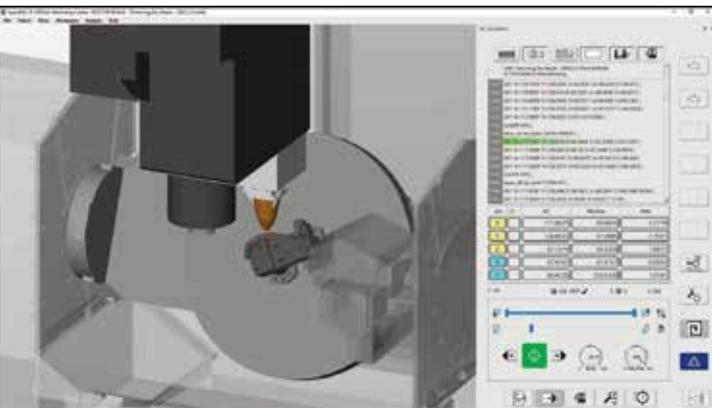
得越来越少。使用数控设备, 可以控制沉积速率、位置精度、沉积方向和焦距, 从而形成理想的熔池, 最终形成具有可忽略小洞及接近天然材料特性的组件。

后处理和仿真是关键

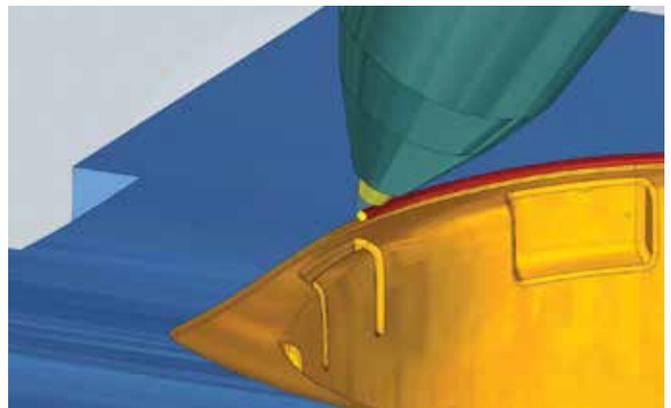
尽管刀具路径的生成在 DED 工艺中至关重要, 但后处理和模拟任务也不应被忽视, 它们对实现安全可靠的处理效果至关重要。

多轴后置处理器是对传统减材制造技术的一大挑战, 但对增材制造机床的要求则更多, 除了需要机床轴向控制, 还需要监测和控制的工艺参数。此外, 与减材工艺相比, 增材工艺更严苛, 需要更高的应用控制。即使有些参数 (如进给速度、主轴转速甚至切削角) 的设置值并未达到理想值, 铣削工艺仍然可以制出合格的零件。但如果焦距、沉积率、气体压力等参数设置不正确, 增材制造工艺就会失败。上述这些参数通常存储在 CAM 软件数据库中, 与机床和沉积材料数据同步。

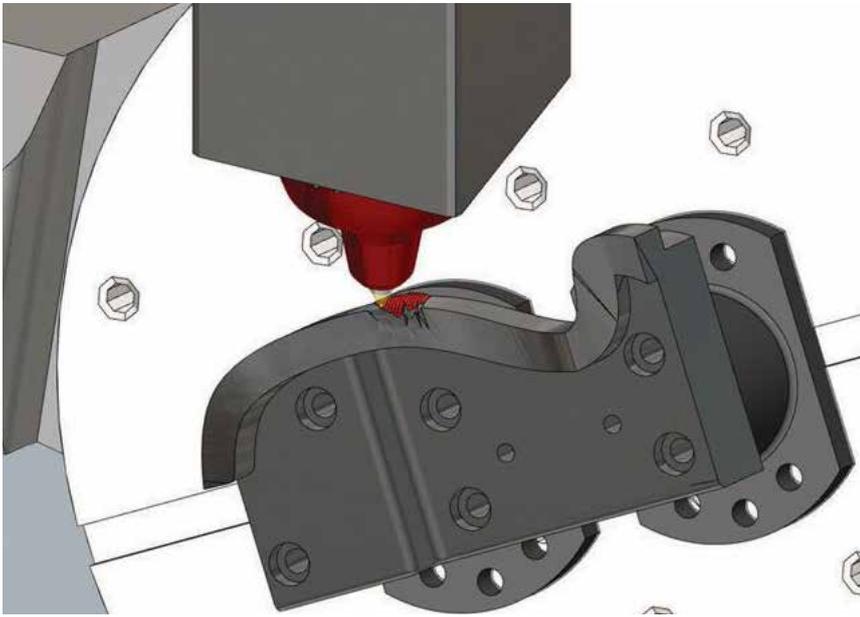
后处理器通常与模拟程序相匹配, 可以识别增材制造中的其他问题。这一点很重要, 因



hyperMILL 虚拟加工中心显示, 当增材喷头安装在主机床主轴附近时, 轴行程不平衡。(所有图片由 OPEN MIND Technologies 公司提供)



刀具在生产过程中经常要进行修理或返工, DED 工艺可以提供很大帮助。可以通过一个系统, 来实现在需要的地方精确添加材料, 并在一次设置中重新加工零件。



冲压模具修复（缺口边缘）。沉积应用在五轴机床上，尽可能保持与基体的正常状态。考虑到初始和受损零件的几何形状，hyperMILL CAM 系统只在需要的地方添加材料。随后的预加工和精加工在同一个混合系统上进行。

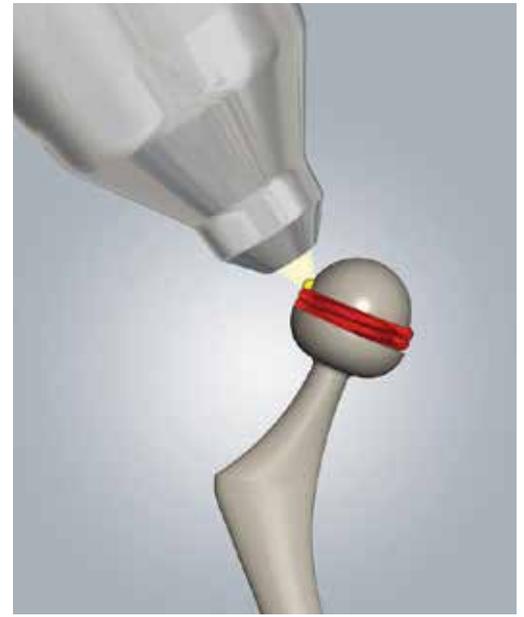
为在激光器开始工作时，我们很难直观地观察到真实的构建过程。所需的短焦距和相对较大的沉积喷嘴尺寸沿着工件的几何形状运行时，会产生影响工艺效果的干涉区。沉积喷嘴造成的干扰，可能比类似情形下铣削主轴夹具造成的干扰还要多。铣削主轴夹具之所以设有多种长度和直径，部分原因就是防止此类麻烦。

另一点需要考虑的是用于创建混合机床的改装硬件。我们通常是将沉积工艺的硬件加到一个现有机床平台上的，很可能产生轴和旋转角度限制。

用于 DED 工艺的先进 CAM 软件

OPEN MIND 公司的 hyperMILL VIRTUAL 虚拟加工系统，通过将后处理器和模拟器以及 NC 优化器模块组合起来，解决了上述许多问题，该模块可通过完整审查机器性能，来改进 NC 代码。该系统通过将 G 代码指令和整个工作环境进行比较，对整个制造过程进行精确的碰撞检查。

在一个案例中，在铣床主轴右侧 4 英寸处装上增材输送系统，剩下的轴行程是不均衡的，有一个比正 X 范围更大的负 X 范围。这种明显的局限性可以通过 hyper MILL 虚拟加工系统来克服。该系统可以检查所有的限制参数，检查加工代码，选择更有利于一侧或另一侧的加工代码，调整旋转轴以实现预定效果。该系统可以在一个完整的长数控编程中，不断核验激光



DED 工艺可以通过在某些区域涂上不同的材料来防止磨损，或通过加强高应力区域来帮助生产更好的零件。hyperMILL CAM 软件具有增材和混合加工的功能。

运行期间的指令，以确定首选解决方案。如果用户手动选择，这个过程就会很乏味，如果在程序改变后重复这个过程，情况就会更严重，这在数控编程中很常见。

在一些五轴机床上，旋转运动是发生在机头而非零件上的。多数情况下，旋转运动被限制在一至两转，以避免在机头内部布线这样的复杂化问题。如果采用增材设备改造此类型机床，那么刀具轨迹运动必须控制在旋转轴限制范围内。hyper MILL 虚拟加工模块可以修改通用刀具路径，以满足这些机床限制。也可以再一次采用数控优化器，提前确定工具路径中的首选位置，以激活复卷功能，停止激光运行，保持构建期间 DED 流程的一致性。

还有一种颇受好评的 DED 工艺，是在多轴机器人末端加上沉积喷嘴。这种机器人重量很轻，通常是机床解决方案的低成本替代品。如果需要，还可以将机器人封在一个密闭环境中，来进行增材制造。举个例子：某些材料（比如钛）通常需要在受控环境下操作，才能保证安全加工。五个控制轴足以定义一个点和矢量。机器人通常配有更多的轴，通常八个以下。需要一些限定了范围、关节和奇点的轴来支撑系统。针对机器人解决方案，hyper MILL 系统会输出一个五轴中性文件，然后用接口模块将这些制造数据、部件模型、参数和机器部件传输到机器人解决方案上。在这些案例中，hyper MILL 仍会提供刀具路径信息、碰撞检查及制造参数。

www.openmind-tech.com

选择正确刀具的战略影响

The Strategic Impact of Choosing the Right Tooling

刀具的重要性已不是什么秘密，但正确的刀具是否真的能对一个车间的竞争力和未来发展产生深远的影响？伊利诺伊州 Romeoville 的 CMG 精密加工公司的资深机械师和制造专家认为，当然可以。

对于 CMG 精密加工公司来说，发现这个案例的细节是一个有点像侦探小说的故事，它以一个重要的油田流组件为中心，并涉及一个熟练的“调查员”。

CMG 精密加工公司是一家位于芝加哥南部，由女性经营的家庭式企业，近三十年来一直为全球提供一系列金属和塑料的高精度零件和组件。它具有各种加工能力，从车削、铣削和磨削开始——可以保持加工公差到 ± 0.00025 " (0.00635 毫米)——并延伸到攻丝、铰孔、锯切、去毛刺、收缩配件和抛光各种操作中。它还提供焊接、电镀和热处理，并能进行镀铬和阳极氧化处理。它将这些能力用于生产和原型加工、生产工程和逆向工程、编程和设计当中。

然而，尽管有这样强大的加工能力，CMG 公司还是受到了油田流组件的严重挑战。这个 500 lb (226.8-kg) 的工件由硬度为 HRC30 的 17-4 级或 F-22 级不锈钢交替组成，需要加工几个孔，最重要的是加工出一个宽 3.75" (95.25-mm)、深 11" (27.94-cm) 的型腔。

很少有工厂有能力成功完成这项工作。从事这些零件加工的 CMG 精密机械公司被迫将一些加工工作承包出去，包括困难的主腔加工；当然，这不仅延长了时间，而且削减了其利润率。这时，调查员 Daniel Sanchez 被叫来了。

Sanchez 是位于威斯康星州 Waukesha 的 Walter USA 专业刀具生产的现场销售工程师。他的进入并不像福尔摩斯进入苏格兰场进行调查那样引人注目，但对 CMG Precision 来说，效果同样强大。

Sanchez 推测，一种新型的 Walter 防震镗杆可能提供了 CMG 精密加工公司正在寻找的答案。但应该指出的是，Walter 对 CMG 精密机械公司并不陌生。

"我们与 Walter 和 Dan 合作了很多年，"CMG 精密加工公司副总裁 Ragina Crim 说，"他对我们的操作和我们的问题有所了解，这对我们非常有益，而且事实证明，当我们遇到刀具和加工困难时，他是一个很好的'关键先生'。"

Sanchez 观察到，"每个公司都是不同的，都有自己的挑战和才能。你不能对工厂采取千篇一律的做法，而是帮助他们找到正确的解决方案，满足他们的特殊需求。"

在这种情况下，Sanchez 认为正确的解决方案是 Walter Accure-tec A3000 镗杆。为什么？"传统的钢或硬质合金镗杆在长度 / 直径比超过 $6 \times D_c$ 时通常是无效的。" Sanchez 说。另一方面，新的 Accure-tec A3000 镗杆具有减震系统，在长径比超过 $6 \times D_c$ 时可以表现出色。Sanchez 称，这就是传统的钢或硬质合金镗杆通常被证明能力不足的地方。

由于工厂经常需要担心——而且有理由担心——这种"微调"减震功能的调校时间，然而 Walter 的防震功能在出厂时就已经预设好，因此刀具可以快速应用。此外，新的镗杆具有紧凑的 QuadFit 精密快速更换头，这可以提高通用性和减少停机时间。用于最佳排屑的内部冷却剂输送是 Accure-tec A3000 的另一个特点，目的在于加快生产速度，同时改善表面光洁度，后者对许多石油和天然气流组件至关重要。

CMG 公司计划在此应用中使用的 Walter 刀具包括 Walter 3.75" (95.25-mm) 可转位刀片钻。可转位硬质合金刀片采用 Tiger-tec Silver 涂层技术，通过优化微观结构提高性能，以减少残余和热应力磨损。

首先，使用这种可转位钻头对宽 3.75"、深 11" (27.94-cm) 的主腔内进行粗加工，



这个 500-lb (226.8-kg) 的工件需要加工几个孔，最重要的是一个宽 3.75" (95.25-mm)、深 11" (27.94-cm) 的主腔加工。



在 CMG 使用的可转位硬质合金刀片采用了 Tiger-tec Silver 涂层技术，旨在通过其优化的微观结构提高加工性能，同时减少残留和热应力磨损。



新的 Accure-tec A3000 镗杆及其减震系统，在加工长度 / 直径比超过 $6 \times D_c$ 时表现出色。



CMG 精密加工公司的副总裁 Ragina Crim 与 Walter 公司的现场销售工程师 Dan Sanchez 一起审查油田流组件的镗孔操作。(所有图片均由 CMG 精密机械公司和 Walter 公司提供)

之后硬度从钻孔时的 30HRC 上升到 40HRC。

"然后我们准备使用新的 Walter 镗杆进行镗孔作业,"Crim 指出,"我们准备在 Doosan Puma 300L 数控车削中心上运行,并对我们与 Dan 制定的新的加工应用建议进行测试。"

灯光 摄像 行动,就像他们在电影业中所说的那样,但这个场景和许多场景一样,并不是一次就能拍完的。Sanchez 说:"这是不使用传统或批量生产方法的一个典型例子。在这种情况下,我们必须调整运行参数(速度和进料)以适应机器的能力。这台机器没有足够的马力以'推荐'的速度和进给量运行,这就是为什么我们不得不通过试验和试错对其进行调整。"

"我们的第一次尝试并没有取得所希望的成功,所以我们将参数调回了一点,使其发挥作用,"Sanchez 继续说。正如他所说,在第一次测试中,机器以 335 sfm 的速度运行,每转 0.0038" (0.09652 mm) 的速度进料,而这导致了主轴的过载报警(130%)。

在第二次测试中,速度为 458 sfm,每转 0.0038" 进给。同样出现主轴过载结果。

在第三次测试中,sfm 保持不变,但每转的进给量被拨回到 0.003" (0.0762 mm)。结果是"没有出现过载警报,但在主轴负荷只有大约 90-95%"。

第四次测试以 458 sfm 的速度运行,每转 0.0015" (0.0381 mm) 的进料。"成功了!" Sanchez 感叹道。这是一个产生了大家都满意结果的过程。他回忆说,这四次迭代只花了不到一天时间。

"现在,"Crim 说,"我们可以加工这些重要的零件,而不必把这么多的工作都交给别人去做。当然,这影响了我们的底线,缩短了周转时间。不过,也许同样重要的是,有了我们先进的钻孔能力,我们现在可以获得一系列过去无法获得的令人振奋的新任务,这使我们处于一个全新的竞争地位。"

www.cmgprecisionmachining.com

www.walter-tools.com

NEW

航空零件加工新时代的到来
New Era in Aerospace Machining

耐热合金加工用
航空产业的革命

**SX3
BIDEMICS
CERAMATIC**

高次元融合的出众耐磨损性和耐崩损性
——新硅铝氧氮陶瓷 SX3 面世!!

针对耐热合金的超高速半精/精加工
——BIDEMICS

拥有优越的耐崩损性,实现耐热合金的
高速加工
——陶瓷铣刀 CERAMATIC



NTK
CUTTING TOOLS



特殊陶业实业(上海)有限公司

Tel: 021-67740987

Fax: 021-67760730

Add: 上海市松江区松胜路736号

www.ntkcuttingtools.com/cn

自动化使火箭零件生产进入轨道

Automation Puts Rocket Part Production into Orbit

私人航天器开发公司的出现，改变了火箭和卫星部件的制造环境。

以前，政府组织，包括美国宇航局和美国国防部，赞助了大部分与太空有关的制造。现在，Blue Origin、SpaceX 和 Virgin Galactic 公司等背后有钱的企业家正在推动下一代空间技术的进步。

不断增长的私人空间业务构成了一个新的行业，对制造商来说有新的关系、新的要求以及新的机会。

Gray 制造技术公司就是一个受益的供应商。这家位于北卡罗来纳州丹佛市的工厂已经利用这些机会，采用先进的加工技术，最重要的是自动化技术，以满足航天工业日益增长的需求。

Gray 公司的产品混合度高，单个产品的批量小。Gray 公司的母公司 Compass Precision 的总裁兼首席执行官 Gary Holcomb 说：“我们的绝大部分业务是航空航天类飞行器或太空和卫星部件，大多数加工是 5 到 10 件数量，而且大多数都与以前的工作不同。它们不完全是原型生产，而是非常小批量的复杂零件，我们每月会交付 100 件以上该类型工件。”

由于空间飞行器公司不断修改和改进其技术，这项工程变更很频繁。“我们可能为一个客户生产五个零件，然后他们可能再订购五个零件，但尺寸却不同，”Holcomb 解释说，“会有频繁的变更通知和大量的生产计划的改变。我们可能在三个月后收到六份订单，但一周后他们需要其中两份订单，而另外两份则从生产计划中移出。”

事实证明，自动化是 Gray 公司在空间和卫星产品加工服务方法中的一个关键组成部分。“当我们第一次谈到自动化时，我们是从能力问题出发的，”Gray 公司制造运营经理 Evan Grose 说，“我们没有空间继续在同一托盘上反复装载同一个零件。”

为了增加主轴的正常运行时间和生产的灵活性，车间从伊利诺伊州林肯郡



来自 GF 加工方案公司的 System 3R Transformer 模块化机器人设置在轨道上，在两个 MILL E 700 U 加工中心间切换托盘，并在装载站离线装载和卸载托盘，从而为 Gray 加工技术公司公司提供长时间的熄灯式加工操作。该公司的航空和卫星零件组合较多，单个零件数量较少，车间依靠 GF 加工方案公司的自动化单元进行加工。（所有图片由 GF 加工方案公司提供）

的 GF 加工方案有限责任公司购买了两台五轴 MILL E 700 U 加工中心，位于一个加工单元内，其中包括一个 System 3R Transformer 模块化机器人和一个 12 托盘的装载站。机器人设置在轨道上，将托盘从加工系统中换入和换出，并在装载站上离线装载和卸载托盘。这些综合能力为 Gray 公司提供了长时间的熄灯式加工作业能力。

GF 加工方案公司的自动化能力使 Gray 公司能够有效地处理其低容量与高混合特点的加工任务。“设备的灵活性非常重要，”Holcomb 说。“在白天，我们集中资源为太空领域的客户制作单件、双件或五件的加工。然后，在我们回家之前，我们把非太空领域加工业务——这些基本上已经是编程的较高容量的航空航天领域的加工工作——在晚上运行。我们在白天利用 MILL E 700 加工单元提供的复杂加工编程能力应对非常小批量的加工，然后将自动化能力用于我们熄灯式加工以运行更大批量的非太空领域加工工作。”

与典型的多托盘系统不同，该系统可

能将无人看管的生产量限制在熄灯作业前装载在托盘上的任何东西，而 Transformer 机器人系统将已完成工作的托盘从机器上移开，用已装载的托盘替换掉。然后，它在闲置的托盘上卸下并重新装载零件托盘上的零件，同时不间断地继续加工。“我们把它称为自动化的自动化。”Holcomb 说。

对于无人值守的加工操作，刀具破损检测被设置在加工程序中。如果刀具断裂，机器就会停止并更换刀具。MILL E 700 U 机床有足够多的刀具存储空间来支持 Gray 公司的长时间无人值守加工操作，必要时可以在程序中调用刀具磨损补偿和冗余刀具的替换。

“我们走上了自动化的道路，因为我们的工作越来越复杂，也因为更难找到拥有合适技术技能的员工，”Holcomb 解释说。“我们选择了坚固的 Transformer 机器人，而不是采用关节型机器人，因为加工中心的复杂移动能力使得没有必要使用全关节型机器人。”他补充说。

Holcomb 说，机器人自动化系统的替代方案将是采用更多的机器，“根据使用机



为了增加主轴的正常运行时间和生产的灵活性，Gray 加工技术公司从 GF 加工方案公司购买了两台五轴 MILL E 700 U 加工中心，位于一个自动化单元内，其中包括一个 System 3R Transformer 模块化机器人和一个 12 托盘的装载站。

器的数量，也会有更多的人，因为我们不能指望一个操作员来运行七或八台机器。根据我们目前的订单水平，如果没有机器人技术，我们至少需要增加三台机器，总共就需要五台机器和两名员工。而在我们业务的这一点上，找到合适的人比获得机器更难。”

虽然目前的零件数量不多，但预计会有更大的数量，这将使车间能够充分利用 Mikron MILL 五轴机器人和机器人托盘系统的加工能力。Holcomb 说，“在这种情况下，更高的产量并不意味着数百万件的加工，我们仅需要几十件，而不是以前 5 到 10 件加工能力。”

随着商业航天器业务的发展和成熟，自动化将变得更加重要。据 Holcomb 说，车间正经历着向已经编程过零件的更高产

量转变。这意味着对编程的需求减少，而对 GF 加工方案公司自动化单元所提供的延长加工时间的需求也在增加。

Holcomb 接着说，除了自动化之外，加工速度对于成功的航空航天和空间飞行器零部件的生产至关重要——其中大部分需要在高转速下加工出复杂的铝部件。

除了自动化单元中的两台机器以外，Gray 公司还有一台 Mikron MILL E 500 U 机床和一台 MILL S 600 机床，它们都具有 7 个托盘的转盘。一台机器的主轴转速为 36,000-rpm，另一台为 20,000 rpm。

前 Gray Manufacturing 公司总经理兼总裁、现为顾问的 Jerry Soots 表示，Gray 公司致力于采用“单一设置”的加工方法，这有助于提高车间的响应速度和效率。Soots 解释说，为了在五轴铣床上实



为了在其 MILL E 700 U 机床上实现五轴铣削的生产目标，Gray 加工技术公司在原始工件上战略性地留下了 0.005" - 0.010" 厚的标签，并将工件夹在一个能够加工所有零件特征的燕尾槽夹具中。

现这一生产目标，Gray 公司在原始工件上留出了 0.005" 至 0.010" 厚的战略性标签，并将工件夹在燕尾形夹具中，以加工所有零件特征。

夹具在零件底部和机器之间提供了足够的加工距离。正因为如此，加工设备可以接触到下面的特征，并从各个角度进行加工。一旦零件完成，就在 CMM 上进行测量；当它符合要求时，他们就会去掉标签。

蓬勃发展的私营太空制造业正在航天器公司和其供应商之间创造新的关系。三十年前，供应商不得不向航空航天公司推销他们的加工能力，而这些公司一般不会积极寻找供应商。除非一个部件是新飞机项目的一部分，否则部件设计的改变是很少的。

“今天，商业航天公司正在做所有的事情，” Holcomb 说，“这是一种完全不同的心态。他们正在积极寻找合格的供应商，这些供应商能够对他们源源不断的新产品和持续的设计变更做出反应。”

“最新的 ISO 认证和 AS 9100D 是最低的标准。你必须在技术上具有很强的竞争性。你必须能够以相对较低的产量制造这些高要求的部件，有时用铝，有时用更难的材料。你必须有足够的灵活性，以适应他们在生产调度方面所要求的流动性。我们的五轴铣床和 GF 加工方案公司的自动化系统为实现这些要求发挥了关键性作用。

www.grey-mfg.com
www.gfms.com



GF 加工方案公司的自动化使 Gray 加工技术公司能够有效地处理其低容量 / 高混合的加工需求。

OSB 巨头公司确信数字主线的价值

OSB Giant Understands Value of Digital Thread is Not TBD



Keith Higgins
VP of Digital Transformation
Rockwell Automation
www.rockwellautomation.com

受生产灵活性预期的推动和疫情形势下保持社交距离的要求，2020 年是标志着工业数字化转型举措大范围推广的一个关键拐点。

随着越来越多的工业企业在其工厂内实施或推广数字技术，制造商正在寻找进一步优化工业 4.0 投资的方法。

比如，消除不同制造系统之间的信息孤岛，包括企业资源规划（ERP）、电子制造服务（EMS）、制造执行系统（MES）、制造运营管理（MOM）以及其他软件系统

和工具。

通过将其业务功能相互连接以实现数字化转型——包括产品和机械设计、生产工程、工厂运营或供应链，企业能够充分优化他们的技术投资。因此，数字主线是一个战略架构，通过集成主要业务功能，优化产品、资产、系统或工艺的生命周期。

数字主线将整个企业的资产、系统和工艺连接起来，以详细、虚拟的视角呈现信息流。它是智能工厂之旅的一个强力助推器。

由数字主线驱动的数字战略，解决了不同团队和系统之间的摩擦和数据损失，加快了制造商的发展。通过数字主线连接 ERP、EMS、MES 和 MOM 系统的数据，信息现在可以在系统之间流通，帮助制造商优化业务驱动流程。

尽管数字主线不是一个新概念，但对于希望更有效地实现数字化并加快收益时间的企业来说，它正迅速成为一种必需品。

数字主线提供了这些好处和机会：

● **实时协作。** 制造商不再需要在整个企业内通过电子邮件发送设计文件，也不

再需要面对版本控制问题。数字主线通过 CAD 和 PLM 软件实现实时协作。整个产业链上的组织可以非常方便地利用上游和下游利益相关者的解决方案。

● **劳动力互连。** 工业劳动力正在迅速发生变化。企业可以利用数字主线实现知识的无缝转移，以迅速将受训者转变为专家。无论是老员工还是新员工，数字主线连接业务系统，为确保生产顺利进行，创建了所有培训和实时指导的历史记录。虚拟现实和增强现实技术可以为新员工或再培训员工提供低风险、高保真环境培训和实时指导，可以将培训时间缩短 75% 以上。

● **数字孪生。** 数字主线可以用来虚拟调试新的生产线。有助于制造商缩短上市时间，并保障投资。制造商无需等到机器被安装到位再调试生产线，而是可以通过数字孪生验证制造工艺和调试 PLC 代码，确保生产顺利进行。

例如，Norbord 公司利用数字主线来提高上下游工作流的可见性。

这让这个世界上最大的 OSB（定向结构刨花板）生产商更好地利用操作数据，提高生产力。

每次使用一个数据点， 使工作更安全、更健康

Making Work Safer, Healthier One Data Point at a Time

使用数据来预测风险、预防伤害和避免死亡并不是一个新概念。气象学家几个世纪以来一直在收集和分析天气数据，今天他们可以非常准确地预测天气，减少恶劣天气带来的危害。不仅仅一个因素，如

风或热，会影响天气，而是各种因素的聚集，一旦出现，就会增加坏天气发生的可能性。预警系统和气象无线电拯救了无数人的生命，而实现准确预测的根源，是由于很久以前就开始了大量的数据收集。

如今的工作现场是非常复杂的。在大型建筑工地和庞大的制造工厂，到处都是移动的设备、机器，最重要的是，还有人。

每天，这些人出现在工作现场，在整个轮班过程中，他们的经历对都是独一无

二的。

他们经历的环境，所消耗的能量以及面对的风险都是独一无二的。

隐藏在这些独特经历中的数据可以开始讲述一个重要的故事，这将导致更少的伤害、更少的死亡、更长的工作寿命、更高的生产力和更少的体力消耗。

根据2020年市场的报告，到2024年，工业可穿戴设备市场预计将增长到近90亿美元。该预测是基于对全球公司的调查。

该预测显示，在寻找新的数据来源以改善环境、健康和安全（EH&S）以及运营方面，预计将进行大量投资。

以下是一些公司使用可穿戴设备数据来识别潜在风险并进行简单改变以产生重大影响例子：

Weiler 公司发现了真正的体力消耗所在

Weiler 是一家位于美国 IA 州 Knoxville 市的建筑设备制造商，它购置了可穿戴设备，以更好地了解设施中许多不

同工作角色的体力消耗情况。

经过短短八周的数据收集，该公司发现其几个工种的体力消耗和重复性动作明显高于管理者的预期。

在进一步观察了这些工种的人员后，经理们能够重新设计任务，使其对工人的体力要求降低。

Millwork 公司降低了 VOC 水平

位于威斯康星州 Campbellsport 市的 Tom's Quality Millwork 公司在其员工中部署了可穿戴设备，并发现在工作日开始时，挥发性有机化合物（VOC）和二氧化碳的水平升高了。

该公司通过在工人到达现场前一小时打开通风系统，减少了工人对 VOC 和二氧化碳的吸入。

随着可穿戴技术的广泛采用，我们可以毫不夸张地认为，在短短几年内，我们将拥有足够的预测数据，我们可以大大减少工作场所的伤亡事故。



Gabriel P. Glynn
CEO
M ā kuSafe
www.makusafe.com

在工人腰椎间盘突出或在水泥地板上绊倒并摔断手腕或发生更糟的情况之前，并没有警笛声响起。

但是，数据可以告诉我们这种概率什么时候会增加。

收集这些数据是让更多员工在一天结束时安全回家的第一步。



卓勒 — 让生产线智能化!

硬件与软件合理配合的解决方案，让刀具数据处理更高效!



智能化工厂的要求其实很简单：智能化的刀具柜、刀具测量仪和刀具管理软件，并由z.One统一的中央数据库将其连接。这样的组合让您不仅可以直接获取存储位置、零件列表及刀具组装助手软件等相关信息，还可在刀具测量仪上立刻对刀具进行测量。拥有卓勒，实现工业4.0变得如此简单!

卓勒（上海）精密检测仪器有限公司
上海市闵行区颛兴路1588号C座 | 电话：021 3407 3978 | 传真：021 6442 2622
邮箱：info@zoller-cn.com | 网址：www.zoller-cn.com



NASA 利用 SensePipe 改善燃油管道

NASA Seeks to Improve Fuel Lines Using the SensePipe



Dan King
Production Engineer
Fabrisonic
www.fabrisonic.com

传感器的价值在于其准确、可靠地测量能力。但在恶劣的环境中使用，该器件的可靠性和寿命将会降低。对于传感器，其测量精度也取决于所处的环境。

通常，您无法将精密传感器放在所需测量的点上，因为这会使其面临损坏的风险，从而导致读数失效。

NASA 也意识到了这一问题，因此，他们的工程师开始着手改进系统监测方式，特别是在低温管道当中。

Fabrisonic 和 Luna 通过 NASA 的小企业创新研究 (SBIR) 计划，开发了 SensePipe。这种传感器能够测量低温流体的压力和温度。它坚固耐用，外形小巧，并且不妨碍流动。

该传感器将改善人们对燃料管路的监测，以提高火箭发动机测试和发射的效率和安全性。

Luna Innovations 是一家位于弗吉尼亚州的光纤公司，专门从事点式和分布式光纤传感器生产和研究。

Fabrisonic 是一家位于俄亥俄州的增材制造公司，它推出了一种名为超声波增材制造 (UAM) 的专有工艺。UAM 是一种固态工艺，它在金属粘合过程中几乎不产生热量。Fabrisonic 公司的 UAM 的固态性质帮助 Luna 公司将精细的光纤传感器完全嵌入金属部件，从而消除了传感器损坏的风险。

SensePipe 是一个不锈钢厚壁管段，含有两个嵌入式光纤传感器，能够不断监测局部压力、应力、应变、温度和热通量变化。

该传感器的设计旨在适配 NASA 火箭发动

机试验台的现有气体管道。

施工开始时，Fabrisonic 使用 UAM 工艺将两条光纤嵌入管壁。最终的管道结构将根据流体或环境条件进行膨胀和收缩。

然后这两根光纤将对这些变化产生比例响应，以确定压力、温度和热通量等参数。这种实施的灵活性允许客户根据需要进行自定义配置。

"通过嵌入光纤传感器，Luna Innovations 和 Fabrisonic 正在推动开发在极端环境下，进行结构健康监测和数据采集的改进方法。"

作为 SBIR 工作的一部分，早期的 SensePipe 原型由铝制成，并在 -191°C 至 70°C (-313°F 至 $+158^{\circ}\text{F}$) 的温度和高达 20.6 MPa (3000 psi) 的压力下进行测试。

SensePipes 的原型能够证明压力和温度的检测精确度分别优于 3% 和 7%。

第二代 (GenII) SensePipes 最近由不锈钢 304 (SS304) 制成，该设计旨在承受极低温 (-253°C) 和高达 41.4 兆帕 (6000 磅) 的压力。在人们进行标定时，发现其测量压力和温度的精确度为 0.25%。其测试和演示预计将在未来几个月进行。

通过嵌入光纤传感器，Luna Innovations 和 Fabrisonic 正在推动开发新的和改进的结构健康监测和极端环境下的数据采集方法。SensePipe 是协同技术的结果，为复杂和具有挑战性的工业挑战创造了一个新的解决方案。

我想获取先进机加工培训

ME中国：先进的机加工技术内容独家授权于业内顶流刊物 Manufacturing Engineering。Advanced machine shop engineering content licensed from Manufacturing Engineering, the smartest source in the business.

经审核的高层人员可免费订阅本刊。
Subscriptions in China are **FREE** to qualified engineering managers.

请将以下信息发送给我们。Email us your

- 姓名 Name
- 职位 Job Title
- 公司名称 Company Name
- 公司地址及邮编 Company Address
- 公司网址 Company Website

并注明“我想订阅ME” subs@icgl.com.hk 或登录 www.ChinaEngineeringMedia.com

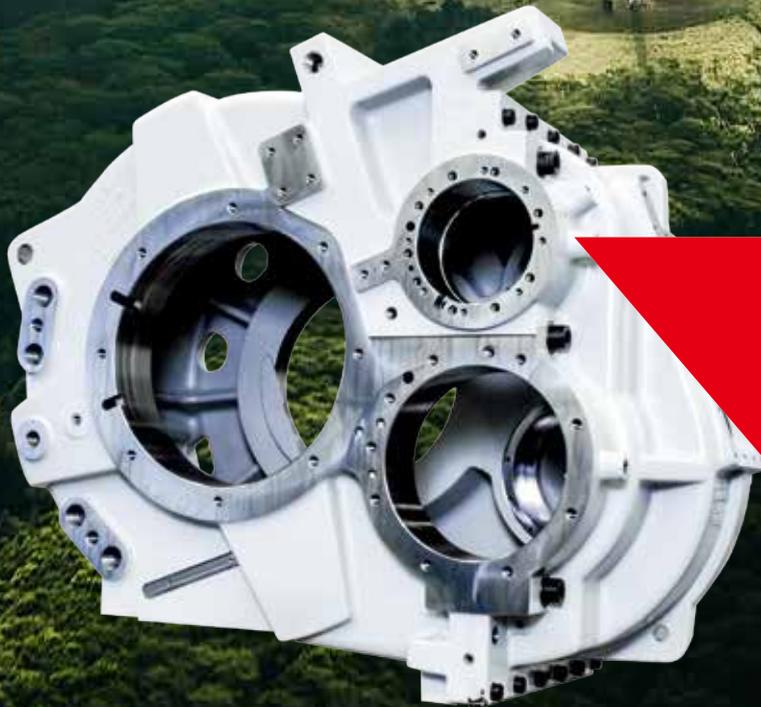


starrag

Engineering precisely what you value

Heckert

如果您希望从设备
使用中获得更多收益



100%
生产效率的提高

源自创新的自动化
流程，镗杆的使用
和辅助时间的减少。

www.starrag.com

香港主板上市
1651.HK

PRECISION TSUGAMI
津上精密机床



CNC精密自动车床 C300-V

适合高精度加工的排刀机



■高精度大功率电主轴(输出5.5/7.5kW)

- 电主轴驱动装置有效地消除振动, 提高表面光洁度

■高刚性硬轨

- 采用高刚性硬轨, 吸收重切削负荷, 确保稳定的加工精度

可灵活对应
长轴类、盘类工件的加工需求

长轴类加工



盘类加工



机器规格

项目	规格
最大棒材直径	φ38mm
主轴最高转速	6,000min ⁻¹
主轴电机	5.5/7.5kW
快移速度	X/Z轴: 24m/min
刀具尺寸	□16mm
机器重量	2,000kg
长×宽×高	1,610×1,535×1,600mm

※ 该机型介绍在《Manufacturing Engineering 中国》杂志2023年3月期封底页上有所刊登。

了解详情<https://www.sme.org/globalassets/sme.org/media/me-china/me-china-latest-issue.pdf>