



"过去50年来，迈凯伦一直是F1世界创新的领导者，引领了当今F1赛车上应用的多种技术，例如电子控制单元和遥测软件。紧跟最新技术是我们取得成功和持续表现的基础。3D打印也不例外，与Stratasys的合作使我们始终站在FDM和PolyJet制造技术的最前沿。"

皮埃尔·泰恩
迈凯伦生产总监

3D打印如何 助力迈凯伦加速飞驰

以及这些经验如何应用于您的行业

自1963年由布鲁斯·迈凯伦创立以来，迈凯伦 Racing 一直走在制造技术的前沿，致力于解决独特的挑战，从而磨砺其竞争优势。迈凯伦 Racing 的成功依赖于尖端技术，因此当迈凯伦与 Stratasys 合作，将其增材制造的应用推向新高度时，也就不足为奇了。

一级方程式赛车（F1）的激烈竞争本质，驱使各车队在追求冠军的过程中，开发出尽可能最佳的解决方案。通过运用增材制造等工具，F1 赛事已成为其他企业如何在各自行业中保持领先地位的灵感源泉。

接下来的页面将重点介绍迈凯伦如何应用增材制造来加快项目进度和降低成本。尽管这些案例聚焦于F1赛车领域，但其核心理念适用于多个行业。事实上，任何准备推动增长的企业都可以从增材制造中受益。通过这样做，您可以与迈凯伦一起，共同创造制造业的未来。





图 1 - 将粘合剂应用于3D打印的悬挂系统模型。

原型制作与研发

巧妙减轻重量，同时不妥协安全性

在一级方程式赛车中，每一克重量都至关重要。但迈凯伦车队需要关注的并不仅仅是减轻重量。车手的安全同样至关重要。因此，工程师们必须确保他们在处理赛车悬挂系统承重部件的粘合方式时做到一丝不苟。粘合剂使用过多，赛车速度就会变慢，给其他车队可乘之机。但粘合剂使用过少也绝不可行。

在一个巧妙运用透明3D打印材料的案例中，迈凯伦3D打印了透明的替代性悬挂部件来练习粘合过程，如图1至图4所示。透明材料使技术人员能够看到零件压合时粘合剂的扩散情况，并能观察粘合接头的完整性，这是使用不透明材料无法做到的。通过这种深入了解，迈凯伦的技术人员可以优化技术，使用适量的粘合剂，既能确保用量充足避免不足，又能防止因过量而增加不必要的重量。

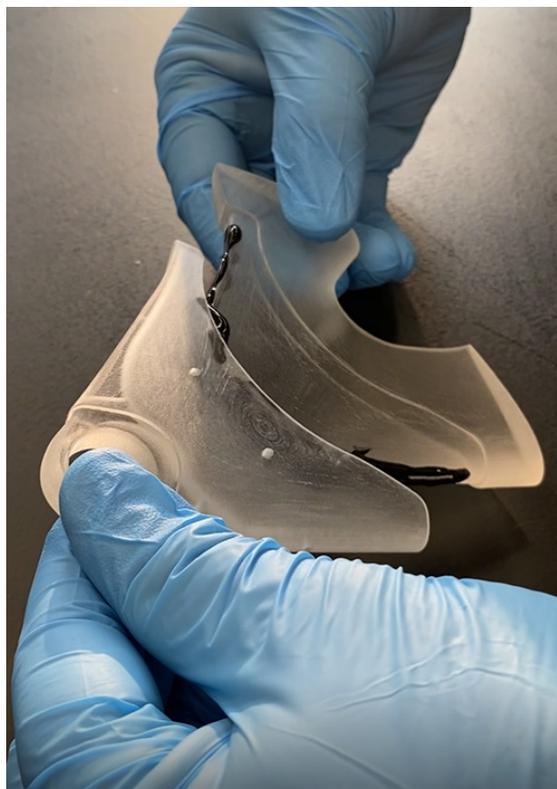


图 2 - 将零件组装在一起。

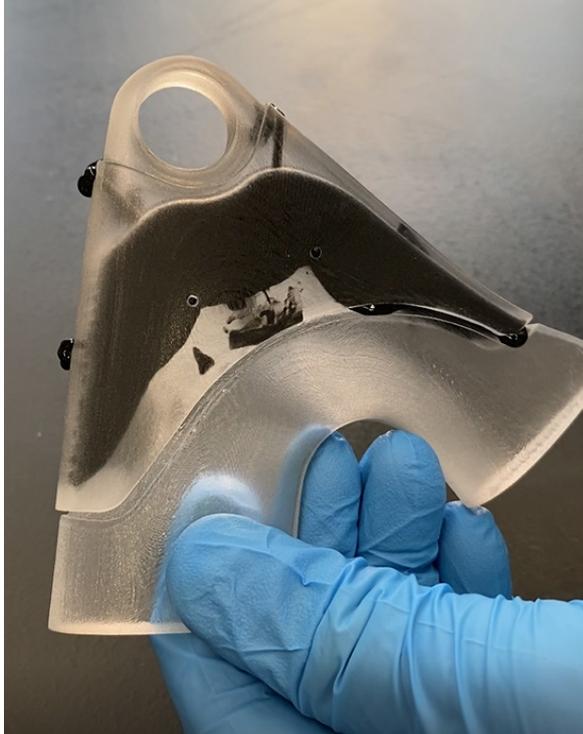


图 3 - 透明部件展示了结果——某些区域粘合剂分布不足，而另一些区域则过多。

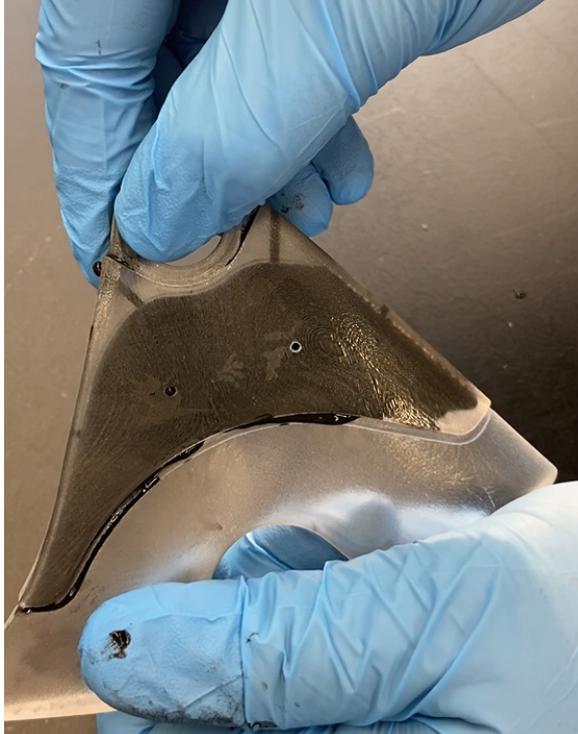


图 4 - 另一次测试展示了优化后的粘合模式，覆盖效果极佳且无浪费。

通过利用Stratasys J850™ PolyJet™ 打印机上的 VeroUltraClear™ 材料，迈凯伦成功地使用透明的3D打印测试部件，在最终部件投入生产前，确保了其粘合流程的准确性。

运用增材制造来实现此类创新解决方案，有助于迈凯伦微调制造流程，从而降低底线成本，并解决了检查不可见粘合接缝的难题。

这些经验也同样适用于更广泛的制造业领域。每当生产过程中浪费原材料，公司都会面临成本增加和环境足迹扩大的问题。尽管在几辆赛车上每个部件多出几克可能并不那么关键，但在传统的制造场景中，这个数量很快就会累积起来。



图 5 - 使用 J850 打印机以 VeroUltraClear 材料打印的叉臂式悬挂测试模型。

"这个工具使我们能够快速验证复合材料悬挂叉臂与其配合金属接头之间粘合过程的完整性。使用增材制造，而非通过机械加工金属或聚合物，让我们能够用更少的人力快速获得一个部件。耗时更少、人力更省、材料更节约、浪费也更少。"

尼尔·奥特利
迈凯伦设计与发展总监



图 6 - 迈凯伦F1赛车的设计之一正在风洞中进行测试。

原型制作与研发

风洞中的增材制造

J850打印机为迈凯伦提供了一种为空气动力学研究创建高分辨率风洞模型的方法。技术团队利用这些模型对原型部件进行微小的机械调整。这使得赛车能够比在完整量产车部件上进行反复测试迭代更快地准备就绪。以这种方式使用PolyJet技术，不仅让迈凯伦能够减少从最初设计到获得实体部件的时间，还提供了其他技术无法比拟的优势——即灵活耐用的部件。

某些PolyJet材料的柔韧性使得团队能够在风洞中对部件进行微小的机械调整，以找到理想解决方案，而无需重新制作部件。借助GrabCAD Print™软件，工程师可以改变模型不同区域的刚度。这种可调整性减少了为风洞生产和后处理部件所花费的时间，从而为设计和测试留出更多时间。

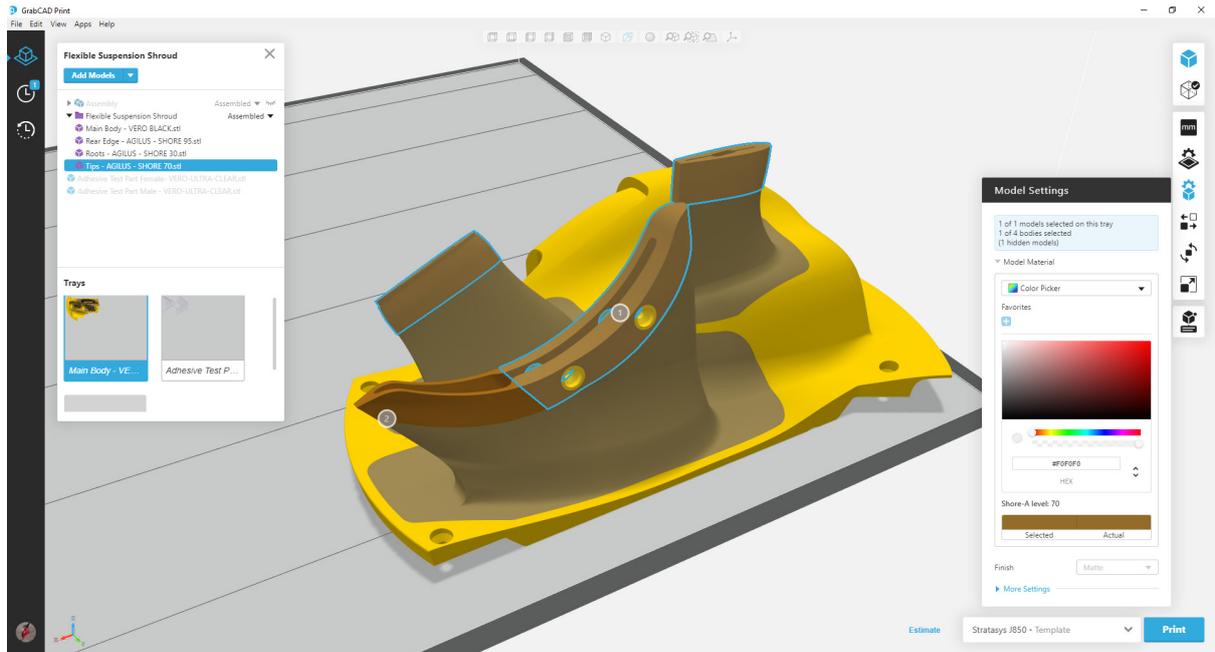


图 7 - 这张 GrabCAD Print 的屏幕截图展示了迈凯伦如何在其空气动力学分析中使用不同硬度的部件。具有不同肖氏硬度值的部分以不同颜色显示。

图 7 展示了如何将一个多实体 CAD 文件或多个 STL 的集合加载到 Stratasys 的 GrabCAD Print 构建准备软件中。直观的界面允许用户为模型的各个部分指定定制的材料属性，例如颜色或机械特性。

无论身处哪个行业，使用传统制造方法来制作和测试新部件，都会对紧张的生产期限产生重大影响。无论是为下一场比赛做准备，还是为下周的产品发布会做准备，利用增材制造来加速设计和评估过程，都能节省宝贵的时间。

"速度在赛道内外都至关重要。一辆F1赛车由大约16,000个零件组成，平均每15分钟就有一个零件得到升级，因此生产速度确实是关键。从赛季传统的揭幕战澳大利亚站到收官战阿布扎比站，我们预计赛车上85%的设计部件都会发生改变。这不仅是在赛道上与时间赛跑，在工厂里同样如此。"

皮尔斯·泰恩
迈凯伦 Racing 运营执行总监

3D打印生产部件

更快的从打印机到赛车的周期

与其他赛车队一样，迈凯伦使用复合材料制造赛车的空气动力学部件，因为它们既轻便又坚固。然而，在某些情况下，由于制作新的铺层模具和固化复合材料需要耗费数小时，根本没有足够的时间来制造这些部件。对既轻便又极其坚固和硬度的替代部件的需求，促使迈凯伦转而采用3D打印技术，使用FDM® Nylon 12CF（碳纤维）材料。这种复合热塑性塑料含有短切碳纤维，因此打印出的部件具有非凡的强度和刚度。尽管在某些情况下，传统复合材料可能使部件更轻，但3D打印所节省的时间使得增加的那点重量是值得的。



图8 - 使用 FDM Nylon 12CF 材料 3D 打印的空气动力学部件。

在图8和图9所示的这个具体例子中，迈凯伦仅用五天时间就完成了从CAD模型到实体部件的转化。而此前这个阶段需要29天才能完成。工程师们无需让赛车在多场比赛中使用时不够理想的部件，而是能够为下周的比赛换上经过优化、3D打印的部件。与传统的同类部件相比，3D打印节省了大约25%的成本。通过优化的工作流程，迈凯伦能够及时为下一场比赛更换关键部件，从而提升了整体性能并降低了开支。

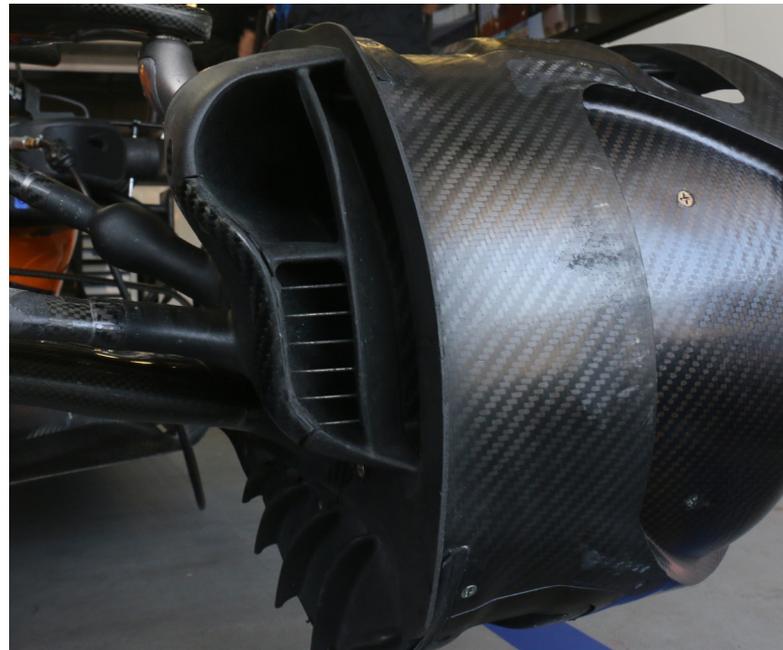


图9 - 3D打印部件（进气口和叶片）与碳纤维铺层组件装配在一起的另一个视图。

3D打印 生产部件

增材制造的复合材料部件必须像传统部件一样，通过迈凯伦严格的质量测试。图10展示了一个部分完成的、使用FDM技术3D打印的复合材料刹车翼，正准备送往振动测试台以检测缺陷。3D打印和GrabCAD Print软件的价值在于能够根据需要调整打印设置以优化部件，并且可以极其轻松地为其分配不同的打印路径。图11展示了在软件中调整填充设置的情况。GrabCAD Print兼容所有常见的CAD格式，并允许用户在部件上留下制造说明，以促进工程师和机器操作员之间的沟通。



图 10 - 准备进行质量测试的 3D 打印刹车翼。

无论是周日的比赛日还是其他期限，大多数企业都有需要满足的截止日期和苛刻要求。通过使用FDM Nylon 12CF作为其他制造方法的强大而轻便的替代方案，制造商可以效仿迈凯伦的榜样，以更快的速度、更好的性能和更低的成本将产品推向市场。

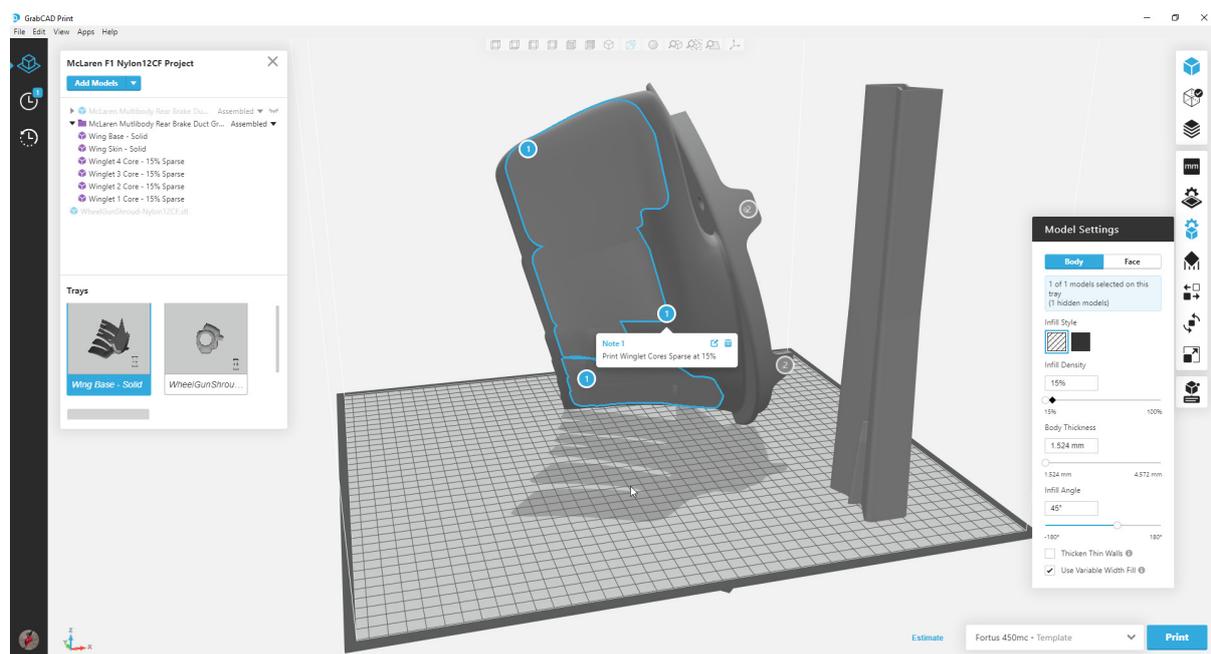


图 11 - GrabCAD Print 软件中高级 FDM 功能的屏幕截图，用于为部件的特定区域指定自定义填充设置，以优化其构建。



图 12 - 迈凯伦一级方程式赛车前部的空气动力学套件。

3D打印 生产部件

核心优势：成本效益

对许多制造企业而言，时间固然重要，但最终成本才是关键。如果无法满足客户的预算，提前完成项目所带来的收益也会递减。迈凯伦F1车队发现，3D打印生产部件完全颠覆了传统的成本效益模式。不仅打印速度更快，而且在某些情况下，成本也更低。其原因在于，通过从制造流程中消除模具，一个主要的成本来源也随之消失。

图12所示的前制动导管在开发过程中就是如此。这些空气动力学部件有助于将气流导入制动系统，并管理进入赛车前部的气流。这些部件不仅将交付周期缩短了60%，成本更是降低了86%。

定制发动机舱冷却导管

F1赛车以其空气动力学特性而闻名。它们通过提供额外的下压力来保持赛车稳定、制造脏空气以干扰对手的赛车，以及冷却关键发热部件，从而提升性能。

但是，当赛车静止不动时，某些部件仍然需要气流。由于这些车辆没有像量产汽车那样的大型散热器风扇，因此当赛车停放时，它们需要强制补充气流。图13展示了迈凯伦如何使用3D打印部件冷却发动机舱后部。这些部件用于赛车在静止状态下，例如在车库内、练习赛之间、排位赛圈后或正赛开始前的各个时段。为了与电动风扇的进风口精确对接，迈凯伦打印出能与赛车原始设计完美匹配的部件。这可以防止发动机及其依赖气流的部件过热和损坏。



图 13 - 使用 3D 打印导管冷却发动机舱后部。

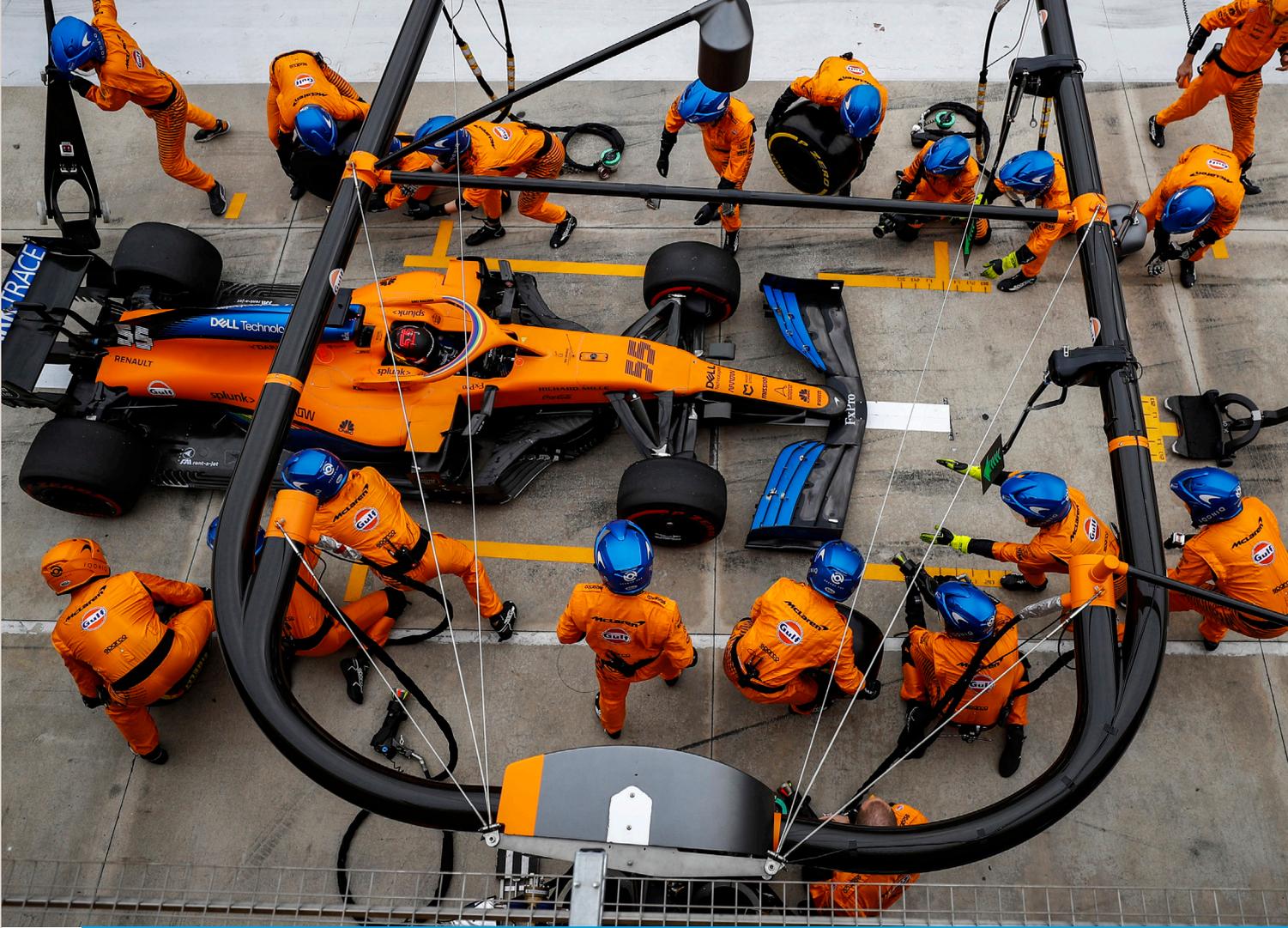
迈凯伦每年只需生产两到三套他们的导管设计部件。他们无需采用诸如复合材料组装或金属制造等传统工艺，而是通过3D打印来节省时间和费用。

在汽车工业中，可以效仿迈凯伦打印导管的案例，包括通过增材制造部件来冷却暴露于外部环境的机械部件。

另一个例子是通过打印组件将乘客舱保持在理想温度。当需要通过狭窄或复杂的区域引导必要气流时，采用为增材制造而设计的方法，制造出用其他方式难以生产的部件，可能是最佳可行方案。对于小批量、复杂的部件，增材制造能够实现快速交付——有时甚至在一天之内——且无需模具。这对于创新的汽车公司、制造设备生产商、航空航天工业以及任何需要定制解决方案的领域来说，都是一个极好的解决方案。



图 14 - 迈凯伦F1赛车的冷却导管在维修区通道上。



"本质上，这使我们能够快速、无需模具地制造出非常复杂的部件。这意味着在我们投入长期生产的复合材料部件之前，我们可以快速迭代设计细节，以找到最佳性能的人体工程学解决方案，而无需投资多种模具方案来确定最终设计。"

尼尔·奥特利

迈凯伦设计与发展总监

工装模具

定制工具——增材制造是出色的团队协作者

每个行业都有其专门的工具，这些工具也同样有着专门的价格标签。F1赛车也不例外。其中一个工具就是车轮拆装机，它能在你快过眨眼的瞬间完成进站换胎。这个工具需要高效且可靠地运行，因为平均进站时间约为2.5秒。在F1比赛中，进站多出几毫秒就可能意味着名次下降或满盘皆输。这是一件关键的维修区设备，需要得到保护。但它也必须符合人体工程学，让换胎工能够顺利、轻松地完成工作。

为实现这两个目标，迈凯伦3D打印了一个定制的车轮拆装机外壳，如图15和16所示。这种坚固的FDM热塑性材料可以保护昂贵的气电两用工具在维修区移动时免受损坏。与此同时，3D打印的设计自由度让迈凯伦能够配置出符合最大舒适度和可用性的外壳。

这是一个完美的例子，展示了FDM技术如何很好地适用于工装模具，同时满足多个目标：保护设备、减轻重量以提高易用性，以及轻松定制以实现人体工程学的舒适性和安全性。正如迈凯伦和全球无数其他制造商所知，这类应用不仅限于工具外壳，还包括夹具（例如仿形软爪）和测试设备。迈凯伦已经认识到，唯一限制应用的，是想象力本身。



图 15 - 一名维修区团队成员正在使用带有 3D 打印保护套的车轮拆装机。



图 16 - 单独展示的 3D 打印车轮拆装机护罩。

利用可溶性内芯简化复杂模具制造

F1赛车上一些较难制造的部件是复合材料的管路和导管。制造这些部件通常需要复杂的工具或对开式模具。但这两种方法都有缺点，在某些情况下，甚至无法使用传统工装来制造。在这种情况下，迈凯伦使用可溶性内芯来制造这些部件。

可溶性内芯形成了导管内部形状的模具，如图17所示，并使用ST-130可牺牲工装材料进行3D打印。然后，用碳纤维包裹该模具。一旦复合材料固化，就将其浸入溶解槽中，可牺牲模具在此溶解，留下所需的复合材料导管。



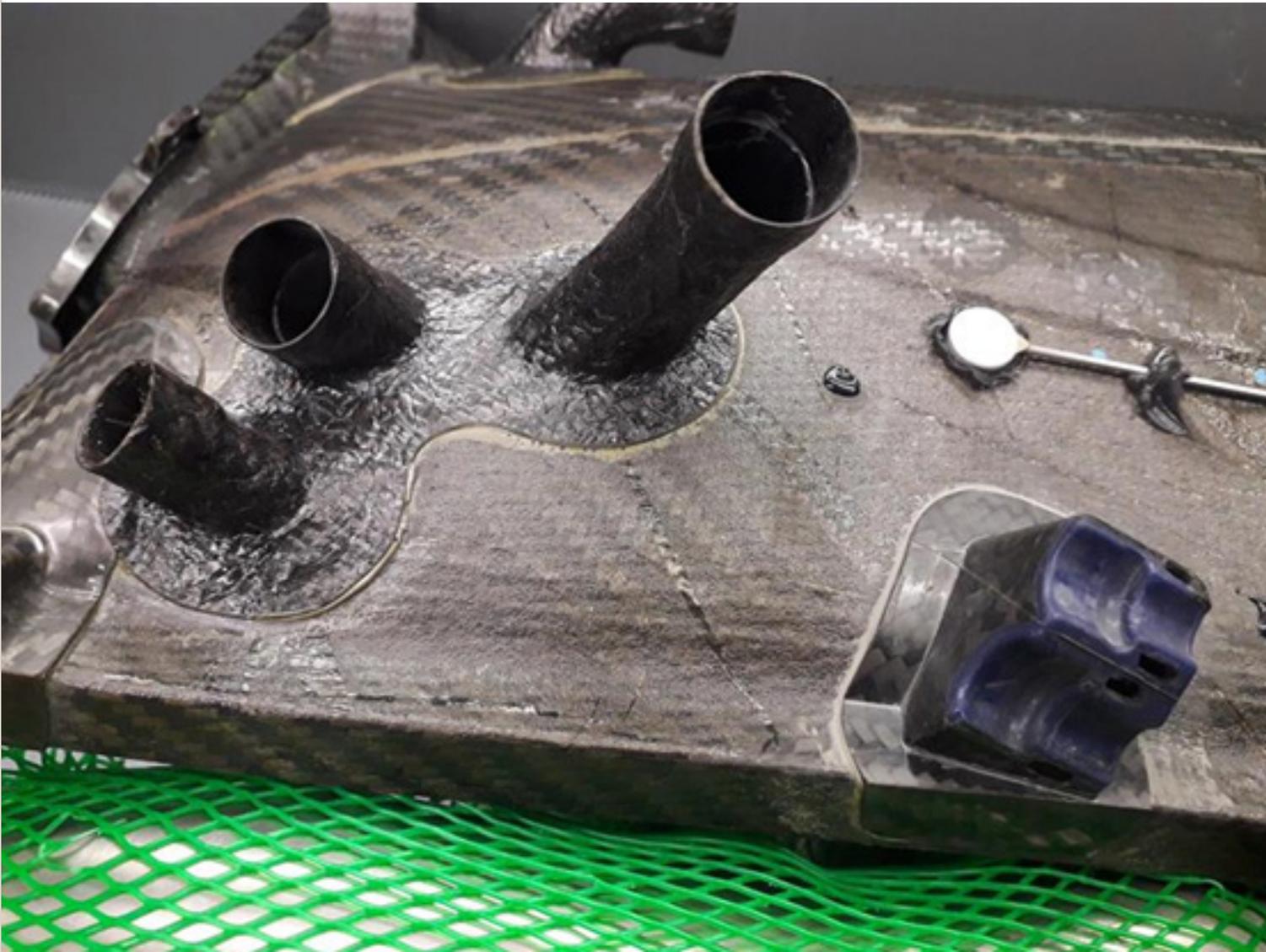
图 17 - 用作形成复合材料导管模型的可牺牲工装（可溶性内芯），最终成品如图18所示。

工装模具

图18所示即为可溶性内芯溶解后得到的最终部件。这种应用是一种快速、简便的方法，用于制造小批量定制的高性能部件，是替代耗时且成本高昂的传统工装制造的绝佳选择。

此工艺也广泛应用于许多其他行业，包括工厂自动化、自行车生产、航空航天制造、汽车、定制体育用品和医疗器械研发。与迈凯伦 Racing 一样，当需要以及时且经济高效的方式制造中空、复杂的复合材料部件时，3D打印的可溶性内芯便是最高效的解决方案之一。

图 18 - 可溶性 ST-130 材料溶解后得到的最终复合材料导管。





超越赛道

简而言之，迈凯伦将3D打印的能力发挥到极致，以获得更好的成果并加速前进。但这并非仅限于一级方程式赛车队的某种专业技术。相反，它是几乎所有行业的任何企业都可以利用的工具，用以改进流程并最终提升利润。

如果你从事将新产品推向市场的业务，那么更快地制作原型并实现更优设计的能力，是否能让你更快地占领市场？

如果你是一家制造商，那么以比传统工具更快的速度和更低的成本制作新的或替换用的夹具和治具的能力，将如何影响你的生产计划？更轻便、更符合人体工程学的工具能否提高工人的安全性和舒适度？

迈凯伦具体展现了3D打印如何使一家公司受益。但您的企业同样可以轻松获得这些优势。

要加入迈凯伦和无数其他受益于3D打印技术的公司的行列，请立即联系Stratasys代表。

Stratasys中国地址：
上海市松江区莘砖公路258号
34幢1901
电话：02133196000



Stratasys官方公众号

