

增材制造

应对增材制造的加工挑战

你可以 3D 打印零件，但能对零件进行精加工吗？问题就在于加工轻质复杂增材制造零件时如何克服零件弯曲。

文 | 雷尼绍全球解决方案中心主管 Marc Saunders



更多精彩请扫描二维码

通过增材制造（AM）生产功能零件可以帮助我们设计和制造采用任何其他方法都无法制造的产品。利用 3D 打印的灵活性，我们可以让零件具备一些性能优势，如质量轻、热效率高。我们可以将独立的部件集成到形状复杂的整体设计中，并且这一切都可以在一个构建过程中完成，而构建过程通常是高度自动化的，材料利用效率高、生产废料少。

然而，增材制造也有缺陷。存在以上优点的同时，增材制造在后加工方面确实也面临着一些令人头疼的问题。增材制造零件的精加工难度很大，因为它们重量轻、形状复杂。两种特点都会产生工件夹紧和振动的问题，导致工艺产量过低。另外，如果复杂部件缺少精确的完工后校正数据，那么部件的对齐也存在问题。

本文要解决的问题是，让轻质零件具备足够的刚度，以便进行有效的精加工。我们会探索如何采用有效的工件夹紧方案制造可切削的非刚性增材零件。我们还会介绍如何使用机床探测装置进行复杂的增材制造零件对齐，帮助我们在已经确定的形状内“找到合适的零件”，并正确加工关键基准面。

加工需求多种多样，所以增材或 3D 打印工艺无法加工符合精准公差形状，尤其是金属材料。通常需要进行后加工，

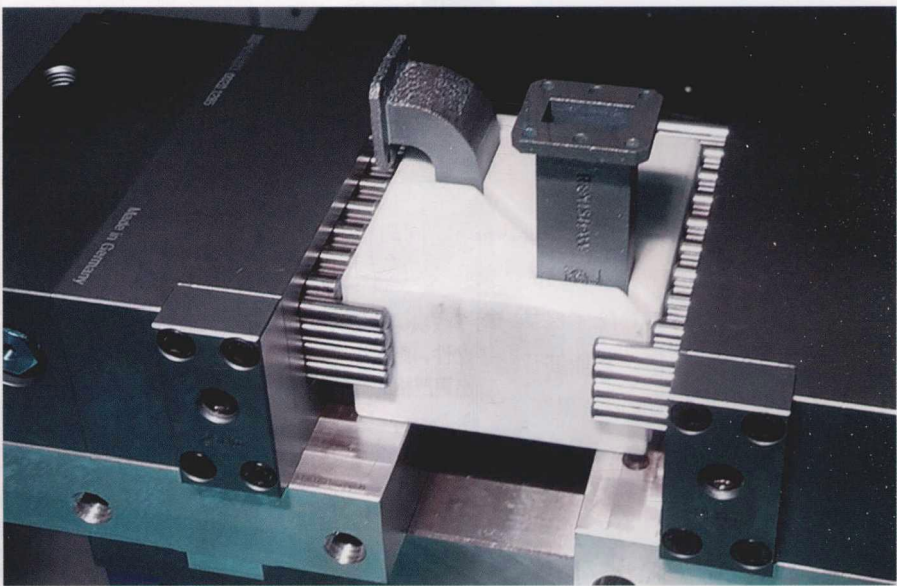


图 1 如果一个 3D 打印零件几何形状很复杂，则加工时必须采用特殊的工件夹紧装置，或许采用 3D 打印工件夹紧装置

得到精确的圆孔和光滑平整的表面，与其他零件进行连接。然而，重量太轻常会降低增材制造零件刚度，这意味着它们无法很好地完成加工工艺。增材制造零件形状复杂，如何实现稳固夹持而不造成损坏是一个难题。最后，在增材零件成形后通常需要加工成基准图形，如何安装部件进行精加工成为一个难题。

这些问题与复合材料和超塑性成形零件制造商面临的挑战有很多相似性——即复杂形状可能发生变形，必须

在变形的位位置加工出精确形状。

在增材制造加工问题当中，首先要考虑到的是零件刚度是否足够承受加工期间必须承受的载荷，由此产生了很多问题。假设我们现在有一个零件，可以通过设计或支持提供足够的刚度，那么另一个重要问题就是如何获取数据和在我们的机床上进行校准。对于形状复杂的增材制造零件，其构造过程中可能存在一些变形，而且缺少精确的数据，这意味着我们必须在已经加工出的形状之



图2 用于加工零件形状的3D打印夹钳可以将零件密封在工件夹紧装置内

内“找到合适的零件”。我们的增材制造零件能否实现最佳的五轴校准至关重要。

我们关注的案例研究零件是一个针对电信卫星设计的微波导轨。零件的关键性能要素包括重量、微波通过其传输的效率和它对卫星有效载荷的空间要求。

第1步：切削力的效果

首先，我们需要知道零件是否具备足够的刚度可以应对我们将施加的切削力。这一点可以通过实验确定，实验方法是使用恰当材料的废弃板材连接在测力计上，对切削力进行估算。之后，采用有限元分析（FEA）将按照上述方法确定的最大和典型切削力施加到零件上。通过真实零件上的试切口可以观察切削力产生的效果。

在切削过程中需要提高零件刚度。有两种方法可选：改变零件设计或改变加工过程中的支持方法。

第2步：通过设计进行改进？

一种方法是考虑我们能否在增材制造零件的设计方面做出一些改变，提高零件刚度。在FEA示意图中，我们已经增加了一些支撑物用于连接部件两端和减小我们在切削过程中发现的偏转。这种方法存在的问题是，我们已经增加了零件的封装，影响了其它部件所占用的空间，降低了总体的设计效率。另外，我们增加的刚度可能仍然无法满足使用基本工件夹紧方法进行零件加工的要求。

第3步：重新考虑工件夹紧

如果我们在不丧失增材制造所提供优势的情况下，很难改变零件设计，那么我们应该考虑在进行金属加工时采用其它方法固定部件。我们需要找到一种方法将部件的支持分散开，减小偏转和振动，以防使用硬固定装置夹持零件时将其损坏。方法有很多，包括采用粘合剂进行工件夹紧和使用一组移动销钉，按照复杂形状进行工件夹紧。

然而，我们还可以考虑采用增材制造的方法，即制造一些封装好的3D打印夹钳。这些方法都可以将夹持力分散到整个金属零件，降低发生变形或表面发生损坏的风险。它们还能确保金属零件与目标加工形状更接近，减少偏转和振动。

第4步：做好加工准备

产生加工废料的主要原因之一是机床几何性能差，体现在绝对性能和随时间的相对漂移。机床轴的线性和旋转运动范围超过准确制造零件所需的公差时，会产生误差。因此，我们必须控制不同方向上的加工基准图形之间的几何公差，这与加工微波导管是一样的。

我们可以使用机床上的计量工具判断零件的几何精度，利用接触式测头检查线性和旋转运动情况。Metrology Software Products公司生产的NC-Checker是一款用于分析这些检查结果的软件工具。它将探测结果整合到一份报告中，帮助我们确认五轴机床的实际准确度。开始加工之前，我们的机床自带的标准程序为我们提供了一个参考点，帮助我们发现可能影响性能的问题。随着时间的推移，这份报告还可以提供机床的漂移数据，并在机床达到临界点发出警告，告诉我们机床可能需要维护。

之后，如果机床一切正常，我们就可以开始切削工件了，是吗？不一定。

增材制造会从很多方面改变工件制造过程，其中一个实例就是数据生成方式。在传统的加工过程中，我们通常是

先加工出基准形状，然后使用这些基准形状对零件进行校准和定位，为后续的加工做好准备。然而，对于增材制造我们不能这样做，因为精确数据要在生成所有其它表面后，进行最后一步加工操作时添加。

因此，设置增材制造零件的困难在于需要考虑已经形成的实际形状，这样我们才能顺利完成零件的精加工。我们需要对零件进行对齐，在所有这些位置留出足够的材料，以确保切削统一、有效。

这次我们又要用到探测装置。可以使用NC-PerfectPart提供各种多点对齐选项，充分考虑材料的实际情况，找到与精加工“最匹配”的设置。对于微波导管，要使用所有测量点处的材料状态重复初步对齐过程，确定实现最佳统一切削条件所需的多轴对齐和位置偏移量。设置过程第二阶段是探测端部法兰的六个孔，找到最佳位置偏移量，确保为孔型切削提供最佳统一切削条件。

第5步：加工

在五轴加工中心完成零件的完美固定和对齐之后，我们准备开始切削基准图形。最终部件的关键尺寸在公差范围内，并且表面平整度良好。与我们之前进行的试加工相比，刀具颤动和磨损显著降低。

精密加工通常是增材制造工艺链的“最后一环”。它是个高风险环节——我们一旦出错，昂贵的部件可能就会报废。精密加工很有挑战性，因为经过功能优化的轻质增材制造零件不可能具有很大的刚度，进行精加工时通常需要支持性工件夹紧。它们形状复杂，需要同样复杂的固定装置，而3D打印封装卡钳提供了一个理想的解决方案。

按照严格公差进行加工，尤其是零件可能发生变形和必须满足几何公差时，计量工作非常关键。使用探测装置可以完成复杂的对齐，在材料内部“找到合适的零件轮廓”，确保可以容纳零件变形和采用更统一的精加工切削条件。MM