

夹具系统

利用传感器监控系统监控生产过程

汉诺威莱布尼兹大学制造技术和机床研究所 IFW 的研究人员研究了如何在智能夹紧系统的帮助下改进切削加工工艺过程。现在，他们与许多合作伙伴合作的研发项目已经取得了可喜的研究成果。

文 | Berend Denkena、Heinrich Klemme、Christian Teige、Heiko Blech

总所周知，工业制造领域中安全性有着非常重要作用和意义，例如在飞机制造领域中对工业企业生产制造的每一个零件都有着很高的质量要求。而这一点在被加工零件的精加工中表现的尤为突出。在这一加工过程中出现的任何微小错误都会对成品零件的质量产生直接影响。精加工生产过程的监控旨在确保所加工零件的质量。这是一项非常具有挑战性的任务，因为精加工时被加工零件的夹持面积通常都较小、加工时所需的切削力也较低。因此，需要很高灵敏度的检测装置才能进行精加工时的力度监测。在 BMBF 德国联邦教育与研究部重点扶持项目“TensorMill”中，IFW 大学研究所开发了一种基于高灵敏度半导体应变传感器（缩写为 DMS）控制的旋转压头夹具。根据接收到的应变测量信号可以准确地监测和评估微小夹紧力和切削力下的精加工生产过程。这也使夹具系统成为切削加工过程中的重要数据来源了。

配备了传感器的零件夹具应力应变测量系统

带有夹具系统使用的是 Römheld 有限公司研发生产的 1835C090R26M 型传感器控制的旋转压头。夹紧零件时，旋转压头在电动机的驱动下旋转、压向零件，然后在电动机的驱动下通过夹具内的弹簧组件产生足够的夹紧力。图 1 所示的就是这种夹具系统的 CAD 模型。

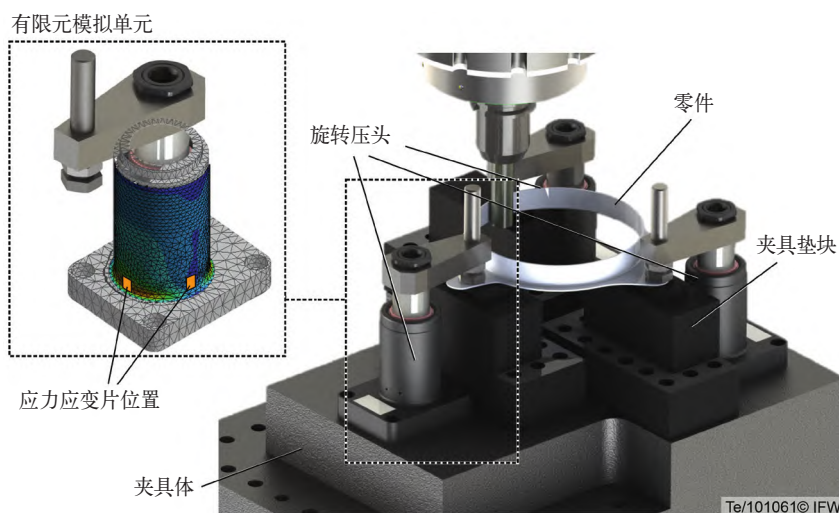


图 1 IFW 研究所开发的传感控制的夹具系统示意图。（左图）图中的黄色方块为安装在那里的应力应变片。这套夹具系统可以在精加工过程中充当采集加工工艺过程参数的专用工具

图示夹具系统中的 3 个旋转压头的圆柱形基座上各安装了两个呈 90° 角配置的 DMS 半导体应变传感器。DMS 半导体应变传感器的准确位置都是用有限元模拟法来确定的。检测到的应变数据和施加在工件上的力都可以通过线性回归法换算出来。测试试验时使用的校准工具是 Kistler 有限公司研发生产的 9123C 型回转测力仪。在这一校准工具的帮助下最终完成了应力应变传感器夹具系统的铣削加工试验。通过试验对不同铣削工艺条件和人为引入的工艺错误情况对铣削过程夹紧力的影响进行了分析。

能够获取工艺过程微小变化的信息

通过设置不同的铣削工艺参数、仔细地分析切削过程中传感器夹具系统采

集到的信号可以很好的研究这种夹具系统的灵敏度。铣削试验时用 3 个传感器控制的旋转压头组成的夹具系统固定住了 1 个法兰盘，采用了 3 种不同的铣削宽度 a_e 对法兰进行精铣。利用低通滤波器过滤掉了不符合铣刀刀齿切入情况的杂波数据带来的波动就能确定静力学意义上铣削工艺过程中的切削力了。这一铣削试验的结果如图 2 所示。

从图中可以清楚的看出：即使最小的铣削宽度只有 $a_e=0.01\text{ mm}$ 、铣削深度 $a_p=10\text{ mm}$ 时旋转压头夹具系统也能清楚准确的测出刀具承受的切削力大小。此时传感器采集到是数据信号换算成静力学意义上的铣削工艺切削力 F 仅有 1.5 N 。因此，我们可以肯定地说：借助于这一夹具系统还可以对切削力更低的精加工过程进行监控。这种传感器控制的夹具系统

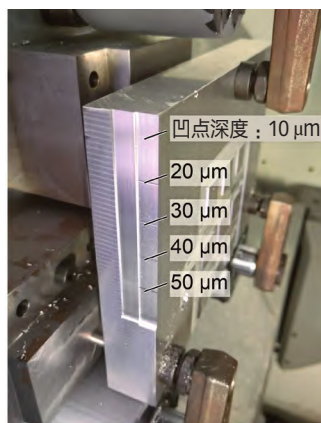
提供了甚至可以检测出零件加工中的最小误差和切削加工工艺过程的异常。

发现零件材料中的局部缺陷

上面介绍的是在恒定切削条件下铣削零件侧面的铣削试验。然而在企业生产实践中被加工零件的毛坯材料常常会存在这样或者那样的局部缺陷、不足。因此，接下来的实验研究就是要确定传感器控制的夹具系统是否能检测出毛坯原材料中的局部缺陷。一个符合 EN AW-7075 标准飞机铝合金材料的工件侧面首先人为做出了 5 个凹点作为材料缺陷的异常点（参见图 3 左侧）；并且这 5 个凹点的深度也不同。

最上面的一个凹点深度 $b=10\ \mu\text{m}$ ，从上到下每一个凹点的深度依次增加 $\Delta b=10\ \mu\text{m}$ 。这样，第五个凹点的深度就达到了 $b=50\ \mu\text{m}$ 。随后，就是铣削有凹点缺口的这一侧面。铣削这一侧面时的吃刀深度为 $a_e=0.4\ \text{mm}$ 。图 3 右侧所示的就是这一侧面精加工时的 DMS 半导体应变传感器检测到的信号。

从信号图中可以清楚的看到（与异常部位对应的）特征点，并在图中用红色圆圈标记出来了。当精加工铣刀切削到有凹陷缺口的部位时，这些凹陷减小了切削宽度 a_e 、缩短了铣削加工时间。从图中可以看出：从凹点深度 $b=20\ \mu\text{m}$ 开始即使没有对接受到的信号数据进行



切削参数

刀具直径 $D=12\ \text{mm}$
刀具切削刃数量 $Z=3\ \text{齿}$
零件材料 EN AW-7075

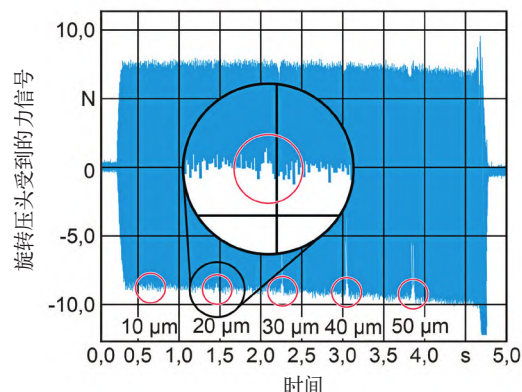


图 3 图示为采用了传感技术夹具系统在精加工过程中采集到的信号（右图）和被加工零件上的五个凹点缺陷（左图）

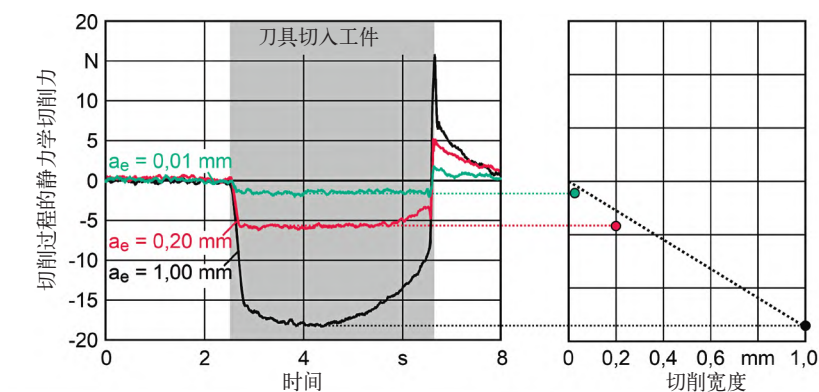
处理也可以用肉眼从图中看出原始信号的明显异常了。这也就证明了半导体应变传感器检测技术有着很高的灵敏度。

结论、未来展望以及对支持者的感谢

根据上述研究得出的结论可以证明传感技术的夹具系统在精加工过程中有着很高的工艺过程监测潜力。一方面是这一技术能够正确的测定切削宽度的变化情况，另一方面是它能够在精加工过程中识别出零件被加工区域隐藏的缺陷。这为未来检测诸如零件原材料中的缺陷或者由前道工序失误而带来的缺陷奠定了坚实的基础。

同样，能够自动评判传感技术夹具系统所收集数据的方法也是汉诺威莱布尼兹大学制造技术和机床研究所 IFW 的主要研究课题之一。传感器数据信号分析评估方法的目标就是可靠的完成切削工艺过程中所收集信号的分析 and 评判、为优化改进切削工艺过程提出建设性的意见。例如考虑一个主动式进给量调节系统。另外，为了使传感器控制的夹具系统这一技术也能应用到不同尺寸、几何形状的零件加工中去，汉诺威莱布尼兹大学的 IFW 研究所还研究了利用诸如零件装夹错位时导致一侧夹紧力过大另一侧过小、导致零件变形等情况下的使用可能性。

传感器支持的夹具系统研发项目“TensorMill”受到了联邦德国教育和研究部 BMBF 主办的“未来的生产、服务和工作中创新技术”计划的资助（资助项目编号：02P17D120 至 02P17D128）。研发项目的上级监督管理部门是缩写为 PTKA 的卡尔斯鲁尔大学。汉诺威莱布尼兹大学制造技术和机床研究所 IFW 对为这一研究项目提供资金支持的制造商表示感谢；诺威莱布尼兹大学制造技术和机床研究所同时也感谢那些为这一项目提供宝贵支持的项目合作伙伴。没有这样的友好合作就不可能实现以实践为主导的科学研究。MM



切削参数

刀具转速 $n=6000\ \text{转/分}$
刀具直径 $D=12\ \text{mm}$
刀具长度 $L=36\ \text{mm}$
每齿进给量 $f_z=0.06\ \text{mm}$

吃刀深度 $a_p=10\ \text{mm}$
吃刀宽度 $a_e=0.01-1.0\ \text{mm}$
零件材料 EN AW-7075

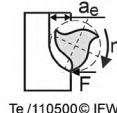


图 2 精加工过程中传感技术夹具系统采集到的静力学受力变化情况