

齿轮部门的副总裁 Thomas Alaniva, 从事螺旋伞齿轮闭路制造工艺的研究和改善将近三十年, 包括最早设计软件版本的 Beta 测试



闭环加工

新的加工工艺——闭环制造

只有将收集来的信息用于实际应用中, 才是有价值的。使用测量数据实现螺旋伞齿轮制造才能将闭环工艺的真正价值彰显出来。

文 | Russ Willcutt

从广义上看, “闭环加工”指的是将测量数据发回设计软件, 设计软件自动调整异常, 并将修订的代码发送到机床, 确保最终结果与计划的目标几何结构一致。就齿轮设计而言, 好处包括减少设置、最小化零件之间的变化及研磨产生的优质饰面。作为闭环齿轮加工的主要倡导者, Rave Gears of Seguin

公司已经将此概念深入地渗透到其全面业务模式中。

“闭环制造不仅是一个理念, 也是一个加工工艺。”公司齿轮部门的副总裁 Thomas Alaniva 说, “它代表着致力于消除整个循环中出现的人为误差, 从而使设计和成品能够快速无缝地对接。”

进行 Beta 测试

Alaniva 非常熟悉所谓的“闭环数字表面形态工艺”。三十年前, 在 Honeywell 的引擎部门工作期间, 他曾参与了软件 Klingelnberg 版本的 Beta 测试 (格里森也是此开发领域的先锋)。Alaniva 与系统创造者 Soeren Weiner 博士的儿子并肩工作 21 年后, 在贝尔直



图1 Jake Kammerer 与公司新的 Klingelberg G60 螺旋伞齿轮研磨机

升机公司的驱动系统中心工作了六年，开展了将闭路系统用于螺旋伞齿轮及准双曲面齿轮等设计和制造方面的实验。2012年首席执行官 Nick Patel 和总裁 Bruce Roberge 发布 Rave 齿轮时，Alaniva 看到了在企业环境继续探索此工艺潜能的机会，被吸引到了一个由最新的设备、工艺和技术，创立的有关航空、汽车、石油和天然气、赛车及军事/国防市场服务的高精度齿轮制造公司。

“原来，我们想要购买几台重建机器，但是很快便意识到这不是我们的真正意图。” Roberge 回忆说，他与 Patel 之前就在另一家齿轮制造公司合作多年，因

此非常有默契。“我们决定购买全新设备，并且再也没有动摇过。”

我们的工厂面积为 20 000 ft² (1 ft² = 0.093 m²)，并很快进行扩大，展览室与车间一样大，配备了 Höfler、DMG MORI、Haas、Mazak、Mitsubishi、Junker 及 Studer 的全新转动、铣削和研磨中心，产生了一个流水化的工作流程。最新采购的是一台第二大的 Klingelberg/Oerlikon G60 螺旋伞齿轮研磨机，它将支持 Rave 的持续深磨或使用坯料直接研磨齿轮的开发。

日常工作

尽管很多公司提供不同类型齿轮和其他组件的闭环设计或制造软件，但是其基本概念涉及的都是开发可靠的设计、部分加工齿轮留下一些坯料、自动比较测量尺寸与原设计、校正，然后完成加工。与此相反，Rave 齿轮的步骤涉及：设计齿轮；计划研磨次序；生产接近目标值的齿轮；在 3D 齿轮分析仪上测量结果并将之与原设计比较；计算设计与近目标齿轮之间的变化；重新安装齿轮到研磨机上，继续研磨，直到完成。

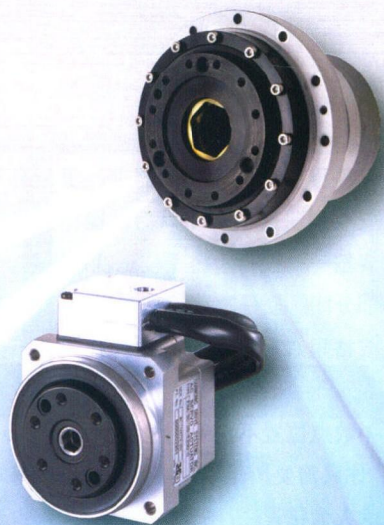
“从根本上来讲，这是一种消除操作人员干扰引起错误的系统。” Alaniva 说，“如果将设计到制造和检查、再到交货之间的整个回路闭合起来，就不存在主观因素。非黑即白，硬数据告诉你正在减少变化。在我设计齿轮组时，软件创建

图2 将一个齿轮加载到 Haas VF-2SSYT VMC 上，执行额外加工操作



哈默纳科
Harmonic Drive

关注改善用户体验
周到细致的全面支持



便捷之作
执行元件系列

广泛应用于



PDF印刷 木工机械 激光 数控机床
等其他多种高精度需求



哈默纳科（上海）商贸有限公司

Harmonic Drive Systems(Shanghai)Co.,Ltd

上海市长宁区天山路641号上海慧谷白猫科技园1号楼206室
邮编：200336 电话：021-62375656 传真：021-32507268
<http://www.harmonicdrive.net.cn/>

华南地区客户请垂询我司深圳办事处

广东省深圳市宝安区宏发领域大厦4栋17层27、29室
邮编：518000 电话：0755-27592446 传真：0755-29305900

的程序实际是用于生产研磨机上零件的，它仿真了滚转试验，提供了变速错误、根部弯曲和表面压力等，开始加工需要的所有数据，让我对加工充满信心。”

Klingelnberg 闭环软件执行一项仿真校正计划，比较实际测试数据与从设计中得到的理论完美零件。此程序识别偏差，执行数千次假定机床移动，确定最佳路径，然后自动发送修订好的成果零件程序到机床控制器上。重新将零件安装到研磨机床中以后，操作人员只需要按一下按钮，接受校正就可以了。“大部分闭环软件都可以加载到 Klingelnberg 或格里森研磨机等的中性代码。不会出现不小心碰到键盘上其他数字或输入的小数点位置不正确的情况。” Alaniva 说，“你只需要按下一个按钮，就可以基本消除人为错误。”

勇往直前

长期倡导闭环齿轮制造工艺是 Roberge 不变的追求，此工艺的主要改善都得益于过去三十年间通过技术进步及强化实践和应用得到的经验知识。

“齿轮测量技术比之前好了很多。” Roberge 说，“我们对接触形态的控制如此之多，只要看到 CMM 加工的



图3 小齿轮等待机床将齿磨深，从而得到小公差和卓越的饰面



图4 保护盖中的齿轮可以发货给全国客户，包括航空、汽车、石油和天然气、赛车及军事/国防市场

图片，就可以预测是否可以‘售出第一件’，闭环系统向我们提供了堪称绝对确定的结果。我们尚未遇到在合理且可轻松校正的范围内，实验室得到的数据与理论设计不一致的情况，因此研磨的第一个齿轮就是第一个发货的。”

关于过去三十年间闭环齿轮制造工艺的特殊改善方面，Alaniva 说：“在新设备设计和改善加工工艺受到团队热烈欢迎的时候，采用过时传统设备和一成不变做事方式的公司很难在市场竞争中胜出。”

他将改善闭环加工的进步分为三类：比之前更准确的研磨机，其驱动器功率更强劲；测量系统如此精确，基本消除了主观和人为错误；与之前版本相比，闭环软件图形用户界面会话风格更加突出，更加方便用户把三十年前使用的基于 DOS 的软件甩在几光年之外。

Alaniva 还指出，研磨技术也有很大改观。除了更加强劲、结实且稳定的研磨机，还开发出与深磨行动和需要的结果完美匹配的车轮连接和纹理结构。这使得采用成本效益越来越高的工艺，生产出符合航空和高端汽车行业公差要求的齿轮。

从操作角度看，这对 Rave 齿轮与客户的关系产生了巨大的影响。“在不久前，12 h 之内完成齿轮设置还被视为是高效，而且多年都没有变过。” Roberge 说，“如今，我们只需要按照惯例设置机床，就

可以通过消除切割装备，在研磨机上完成所有工作，并且仅需 3 h。”

学习到的经验教训

公司对深磨及闭环系统的承诺正在帮助其树立快速、准确并经济地生产复杂齿轮的声誉，Roberge 说：“现在客户来电话询问深磨 120 组齿轮的报价，例如三个环形齿轮和两个小齿轮，我们都会报出比原先低的价格。因为如今将闭环工艺与深磨组合起来，可以一次操作就得到产品，周期时间也缩短了。之前需要数天的加工工作，现在几个小时就可以完成。”

深磨且闭环工艺固有效率强化消除的另一个问题是，热处理的不确定性。Alaniva 说：“用户如果像我们一样扩大比例系统的实践范围，从一个领域走向另一个领域，变化就会减少 90% 以上，甚至能够预测热处理结果。深磨能在零件内部产生均匀的压力，让用户可以准确预测热处理期间将发生的事情。如果你想要在热处理后就得到很好的齿轮，那么就没有什么比闭环做的更好了。”

Rave 齿轮不仅采用了闭环工艺或坯料研磨齿轮，据 Roberge 说：“我们是唯一一家采用此组合方法的公司。我们看待市场的方式与之前大不相同，出现了大转变和新范例。如今我们能够站在转变的前沿，是非常好的一件事。” [MM]