

在线振动监控提升强力珩齿加工质量

朱俊华¹ 张延富¹ 郝宗民¹ 陈健¹ 李威达¹ 霍杰² 周兴云²

1. 义乌吉利自动变速器有限公司 2. 宁波吉利罗佑发动机零部件有限公司

摘要: 强力珩齿作为齿轮精加工最优的方法而被越来越多地采用, 为了提升强力珩齿的零件加工质量, 本文阐述了强力珩齿设备振动监控的原理和数据分析的方法, 并举例实际应用, 采用理论分析和实际验证数据比对结合的方法, 分析了振动图谱、设备状态和零件检测结果的对应关系。结果表明, 珩齿振动在多数情况下会影响零件齿面波纹, 并会带来不同阶次的振动, 通过设置监控限值用于确保零件加工质量。

关键词: 变速器齿轮; 强力珩齿; 振动监控; 齿面波纹; HRI

0 前言

目前国内乘用车变速器齿轮为了达到高标准的 NVH 要求, 避免齿面烧伤, 普遍采用了强力珩齿的工艺作为齿面的最终加工工艺。实际应用中, 由于珩齿切削效率的限制, 强力珩齿对毛坯状态和余量的要求很高, 导致在很多零件加工时, 难以避免地会出现因磨削阻力的变化引起的不同类型的振动, 导致齿面一些带有固定阶次的振幅, 反而让零件的实际 NVH 表现变差, 产生很多复杂而不好控制的质量问题。PRAWEMA 是目前国内应用较多的强力珩齿设备, 其特有的振动监测系统为 HRI (Hybrid Reactive Index), 能够提升强力珩齿的加工质量。

1 在线振动监控功能的原理

为了采集到设备加工时的振动数据, 首先需要在机床的各主要快速运动部件上设置采集点, 如图 1 所示。

PRAWEMA 珩齿设备加工时的 3 个主要运动部件是:

- (1) 工件回转轴 C 轴, 负责工件的夹紧和旋转。
- (2) 珩磨头回转轴 B 轴, 负责珩磨砂轮的夹紧和旋转。
- (3) 尾座移动轴 U 轴, 负责尾座的支撑和旋转。

通过在 3 个轴上布置的振动传感器, 可实现实时数据采集, 并通过瞬时测量设备传递到 PC 端保存。

2 强力珩齿的加工过程

强力珩齿工艺是珩磨轮主轴和工件主轴分别通过电主轴驱动, 同时通过控制系统实现高度同步, 加工过程工件沿轴向往复运动同时工件径向进给。利用啮合处的相对滑动, 并在齿面间施加一定的压力来进行磨削加工。

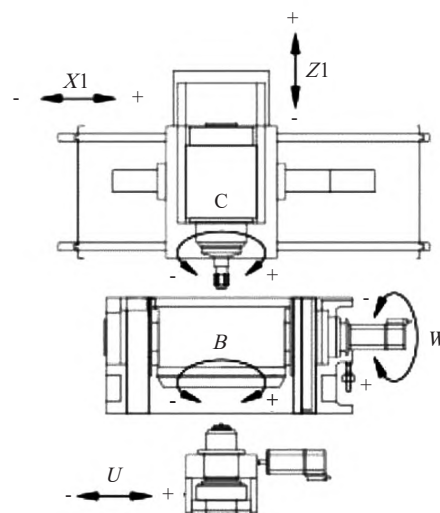


图 1 PRAWEMA 珩齿设备加工运动部件

表 1 列出了强力珩齿的几个主要过程阶段。

为了便于针对不同加工阶段的数据进行筛选分析, 在振动采样时分别赋予一个数值代码, 不同数值代码代表了不同的加工阶段, 表 2 列出了几个主要加工阶段的代码。

表 1 强力珩齿加工主要过程阶段

阶段名	主要内容
接触阶段	零件与珩磨轮从无接触到完全接触阶段的行程
工作阶段	指完全接触后到加工到指定的零件尺寸的行程
清磨阶段	加工到指定零件尺寸后的无进给抛光阶段

正是由于珩磨过程中的应力和切削率低的特点, 在加工过程中容易由于应力的周期性变化产生共振, 进而导致零件表面呈现出周期性的纹理变化, 从而导致齿轮在啮合时产生噪声。

表 2 主要加工阶段代码

阶段代号	阶段名称
3	添加路径 X
7	添加路径 $X(1)$
4	工作路径 X
10	工作路径 $X(1)$
5	清磨

3 HRI 系统的应用

3.1 HRI 频谱界面

HRI 的频谱界面采用实时监控画面，如图 2 所示，其中横坐标为频率 / 阶次，可通过设定按钮进行切换，两者的换算关系是：

$$f = O \times \frac{n}{60}$$

式中： f ——频率，单位 Hz； O ——阶次； n ——轴转速，单位 r/min。

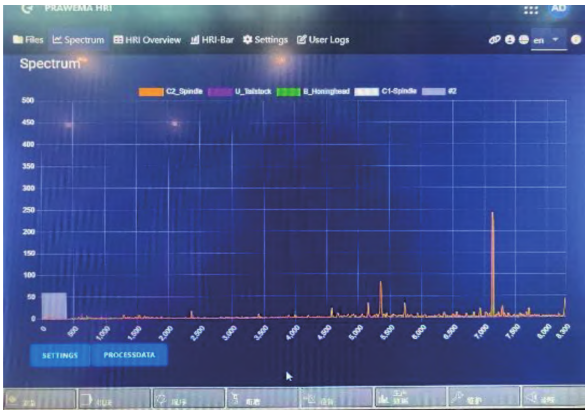


图 2 HRI 频谱显示界面

纵坐标为对应频率 / 阶次的振幅幅值，单位为 mg，图形通过不同的颜色显示不同的轴的实时振幅曲线。

对于机器而言，其运动过程中必然存在一些固有的特征阶次和频率，表 3 列出了根据经验分析得出的部分已知的问题频率和阶次，便于使用者在分析解决问题时参考。

3.2 HRI analyze+ 的界面

HRI 系统针对加工时不同阶段的振动数据进行了采集和保存，数据以 CSV 格式存储在 PC 端，HRI analyze+ 提供了针对 CSV 文件的多种查看方式，可通过表格、曲线和色阶谱线的方式进行分析。

CSV 文件可以通过路径：\\……\HRI\data 文件夹进行获取，包含以下子文件夹：

表 3 已知的问题阶次和频率

频率 /Hz	对应问题
240~300	导轨系统的自共振频率
1040	主轴外壳的自共振频率
1050~1850	装夹系统的自共振频率
3000~4000	有尾座参与时夹紧系统的自共振频率
阶次	
1	转动不平衡
2/3	位置歪斜，或者尾座的位置不对
3/4	对应 X 或 Z 轴导轨磨损

HriDebugLog 文件夹包含每一个工件随时间变化的加工过程参数。

HriLog 文件夹包含每一个零件的 HRI 数据总览。

HriFFTlog 文件夹包含每一个工件的各阶段的频谱数据，该文件是分析加工的振动的频率的数据，以下简称 FFT 文件，后面将重点介绍本文件的分析方法。

FFT 文件名称采取固定的方式生成，包含了程序代号、加工时间、零件代号、轴号和工步。

3.3 HriFFTlog 文件列表

FFTlog 文件导入到 HRI analyze+ 后如图 3 所示，每组 FFT 文件包含了近 2 h 的所有零件数据，可通过时间或者工件记数标签找到需要分析的数据段。



图 3 FFTlog 导入 HRI analyze+

3.3.1 FFT 数据的筛选

因原始导入的 FFTlog 包含了所有的数据，分析时往往不需要对全过程所有零件和所有轴进行分析，通过过滤选项，可以筛选出对于零件加工质量影响最大的轴和阶段，一般情况下，选择决定齿面最终形态的工作路径（阶段 4 和 10）和清磨（阶段 5）进行分析。

3.3.2 生成光谱图

完成筛选后的数据依然是以列表的方式显示，为了更加直观地发现加工过程的异常，还需将列表数据转换为光谱图形式显示。图 4 通过颜色从浅到深的色差，可以更便捷地看到一些特征频率和加工过程中出现高幅值

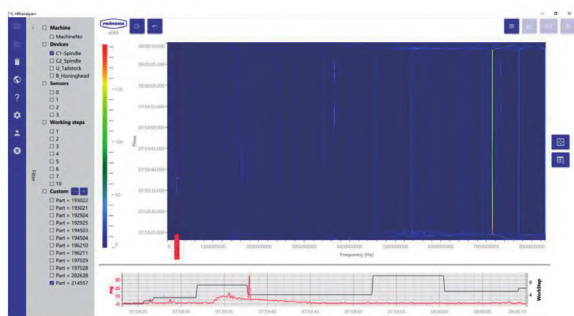


图4 FFT光谱图切片

的区间。

3.3.3 对光谱图进行切片分析

为了更加详细地看到高振动幅值区域的阶次和发生阶段,可以选择对光谱图进行切片,切片图如图4所示,右下角红色曲线代表切片阶次的振动曲线,黑色曲线代表对应的阶段。

3.4 HRI 和 HRI analyze+ 在实际加工中的应用

3.4.1 故障阶次和阶段的确定

举例:某珩齿设备出现加工后零件齿S形,对比分析频谱发现,相比于零件合格时期的状态,本次故障时32~36阶次在工作路径存在明显振动,已知高幅值振动区域后,为了判定该位置是否异常,可对比同一种工况下正常零件的光谱图,如图5所示,对比正常零件频谱,在同位置未发现振动,该阶次换算成频率为3081

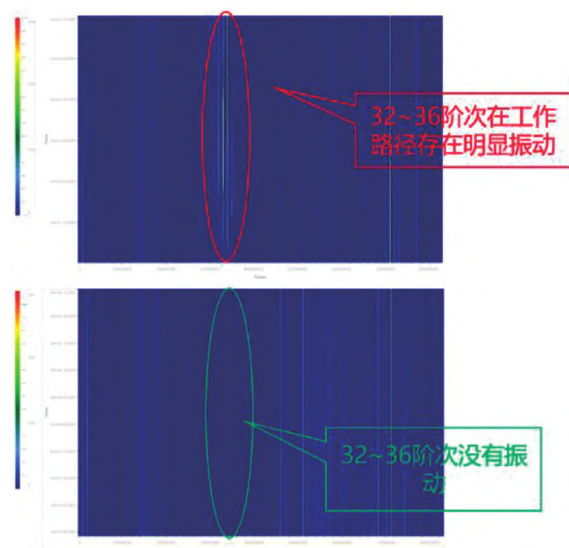


图5 FFT光谱图对比

~3466 Hz,根据表3的经验,该频率为尾座参与时夹紧系统的共振,重点排查工装与尾座的同轴度,经过重新校准精度,问题得到解决。

3.4.2 故障预防

为了预防今后再次发生同样问题,可以在监控窗口进行限值设置和抽检超过设置限值的零件。如图6所示,对于阶次(2±2),珩齿阶段10,工件轴C如超过60 mg振幅,零件将被送往抽检区域,提示操作者该零件存在风险,需进行检测,此举可以有效避免风险零件的流出。

Order	Bandwidth	Procsteps	NC-Prog-No.	Handling	Limit	Reaction
2	4	10	50	C1-Spindle C2-Spindle	60	SPC

图6 限值设置窗口

4 结语

本文只介绍了PRAWEMA强力珩齿设备振动分析的通用过程,这项工作在实际应用中是一个经验和数据积累的过程,因为所有的设备运行时必然存在振动,而判定哪些振动是正常的、哪些是异常的,需要大量检测数据的积累,其影响因子也是复杂多变的,文中提到的对比分析法是最快捷有效的。本文介绍的振动监控系统和分析方式,对于其他齿形精加工(如磨齿)设备利用振动监控进行故障分析也有参考价值。

参考文献

- [1] 李云峰.珩齿加工技术现状分析[J].机械管理开发,2015,(5):78-81.
- [2] 张才源,张引炳,黄超,石刚.通过强力珩齿改变齿轮表面波紋度来改善NVH,[J],汽车制造业,2023,(1): 51-53.
- [3] 郑辉,段亚军.强力珩齿技术在高精度齿轮加工方面的应用.[J].科技与企业,2012,(09):295-296.
- [4] 李文浩,夏链,袁彬,等.基于模态分析的数控内齿强力珩齿机床身优化设计[J],合肥工业大学学报(自然科学版),2018,(11): 1446-1450.
- [5] 陈宇.汽车齿轮珩齿加工缺陷的工艺改进新方法.[J].汽车工艺与材料,2020,(03):45-49.