DOI:10.16173/j.cnki.ame.2019.09.012

滚磨光整技术在变速器关键件的应用研究

□ 上海汽车变速器有限公司/毛飞龙

本文基于滚磨光整技术，以某新能源变速器中的电动机轴和电动机齿为研究对象进行光整加工，通过实验对比加工前后零件状态，滚磨光整加工不仅在零件原有加工精度基础上有所提高，并且齿顶反翘、翻边毛刺得以消除，齿面粗糙度得以提高，对改善零件整体表面质量及精度具有普遍的指导意义。

新能源汽车已经成为汽车行业未来的发展趋势，适应新能源汽车的变速器开发与优化工作成为变速器行业的主要任务之一，齿轴类零件作为新能源变速器中关键零部件，磨齿后齿面接触疲劳强度已无法满足设计要求，传统工艺采用强力喷丸来提高齿面强度，但又造成了齿顶反翘、齿面粗糙度超差及翻边毛刺等严重质量缺陷，在不破坏零件原有加工精度的同时还要消除由强力喷丸造成的一系列质量问题，成为变速器行业亟待解决的问题。

光整技术概述

光整加工技术是一种对金属或非金属零件表面进行特殊加工进而提高零件表面质量的加工方法。不同于大量去除材料的传统机械加工，光整技术作为精加工和超精加工方式之一，不仅可以去除零件由于机械加工造成的翻边和毛刺，还可以降低零件表面粗糙度值。在磨削等精加工后工件粗糙度提高1～2个等级，并且可以改善零件表面残余应力，提高零件使用寿命。

近年来国内的光整技术的研究及应用得到了极大的发展。文献资料显示，刘桂莲、吕彤通过对四种滚磨光整加工方法分析比较，得出了离心式和主轴回转式滚磨是提高零件表面质量的理想工艺的结论；李国忠以U形螺栓为工件进行光整加工，通过设定不同的工艺参数得出零件表面粗糙度变化随着时间的增加，零件表面粗糙度逐步降低，并不断趋于恒值的结论；孔晓丽对变速器齿轮珩磨与电化学光整结合研究，发现变速器噪声明显降低，得出了结论：电化学机械光整可以提高零件表面质量，进而提高变速器寿命。

光整技术种类繁多，滚磨光整技术作为光整技术之一，加工零件具有灵活性更高、加工效率更高、适用范围更广等优点。滚磨光整技术定义为：滚磨光整技术属于一类典型的自由磨具光整加工技术，是将处于自由状态或非自由状态的零件置于装有加工介质（滚抛磨料、磨剂等）的设备里，加工时工件和容器同时产生一定的相对运动，使工件和磨料之间形成复杂的相对运动，在相对运动的作用下，处于游离状态的磨料以一定的作用力对零件表面进行碰撞、滚压、滑擦和刻划等微量切削作用，从而改变零件表面的几何特征（降低零件表面粗糙度值，增加表面轮廓材料支承

率，改变表面纹路方向，去除翻边毛刺等缺陷），改善零件表层的物理力学性能（提高表面显微硬度，表面形成变质层，改善表面应力状态等），降低零件表面粗糙度值，改善零件的表面平整性，提高零件及产品的使用性能和寿命，达到对零件表面光整加工的目的。

加工原理及工艺选择

1.加工原理

滚磨光整加工通过专用工装将工件定位装夹于小滚筒上，滚筒中加入磨料，滚筒带动工件旋转，磨料与磨液混合形成磨料流，工件与磨料在一定的碰撞与挤压力作用下达到微量切削的目的，从而实现磨料对工件的外表面光整加工，改善工件表面质量。

滚磨光整技术的加工原理如图1所示，磨料流必须覆盖工件需要改善的表面，加工时小滚筒首先绕回转中心O公转，同时绕自身回转中心O自转，即小滚筒做行星运动；工件绕大滚筒的公转方向N与小滚筒的自转方向n相反；工件、磨料和磨液在滚筒的带动下相互碰撞、挤压、刮削完成表面加工。

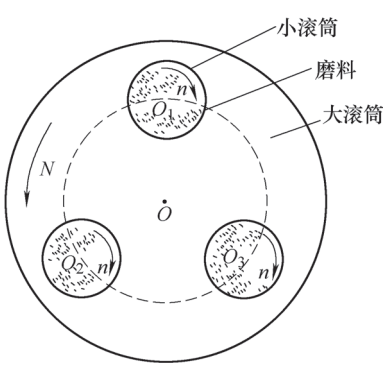


图1　滚磨光整加工原理示意

2.工艺选择

（1）磨料的选择。磨料参数有大小、材质、形状等，选用磨料时须综合考虑工件的硬度、结构以及精度要求。

（2）磨液的选择。磨液与磨料混合称为磨料流，磨液不仅要起到很好的清洁作用和缓冲工件与磨料的碰撞，而且还要有一定的防锈功能，磨液以浸没工件和磨料为度。

（3）工艺路线的选择。以工件大小、数量选取合适的光整设备及工位数量；以加工精度选择合适的工艺参数。

试验方案

1.工件状态

试验零件为某新能源变速器的电动机轴和电动机齿，如图2所示。

（a）电动机轴

（b）电动机齿

图2　试验零件

工件信息见表1，两种零件均为热处理后（以下简称：热后）零件，表面硬度58～61HRC，电动机轴为热处理后结合齿与轴齿焊接而成，结合齿毛刺不易去除；电动机齿使用时实际转速超过12 000r/min，对齿面接触疲劳强度有较高要求，强力喷丸后造成齿面粗糙度超差、齿顶反翘等质量问题。

表1　工件状态

名称	状态	当前工序	材料	表面硬度HRC
电动机轴	热后	强力喷丸	20MnCrSH	58～61
电动机齿	热后	强力喷丸	20MnCrSH	58～61

2.试验目的

两种工件加工后存在类似问题：翻边毛刺难去除干净；强力喷丸后齿面粗糙度超差；齿顶存在反翘现象。

试验目的：消除翻边毛刺；降低齿面粗糙度值；消除齿顶反翘，并对比加工前后工件残余应力、轴承挡尺寸及几何公差的变化。

3.试验条件及工件装夹

试验条件见表2。

表2　试验条件

设备	磨料	研磨剂	研磨时间/min
BJG-X400B光整机	PLCO7*7磨块	HA-IS磨液	12

图3所示为两种工件的装夹方式，两种工件均有两中心孔，为保证工件装夹后跟随小滚筒同步转动，采用一端中心孔定位，一端端面压紧方式，小滚筒自转同时绕大滚筒公转，达到磨料与工件接触速率最大的理想光整效果。

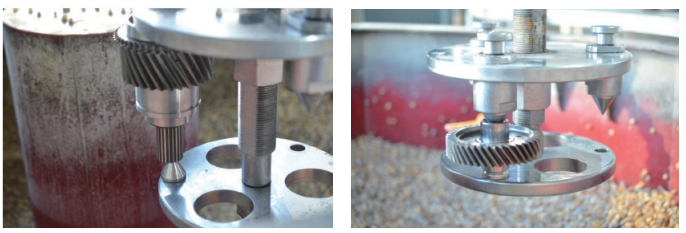


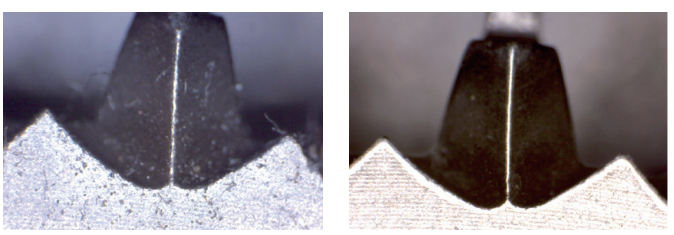
图3　工件装夹方式

实验结果

1.翻边毛刺

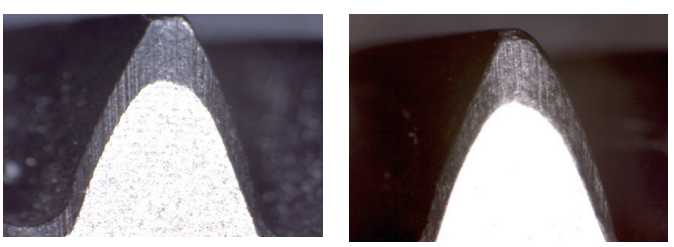
如图4所示，电动机轴光整前结合齿翻边毛刺较多，经过光整后棱边光滑过渡，结合齿面与面之间交线形成圆弧，实测值R=0.2mm，经光整加工有效去除了工件翻边毛刺。

如图5所示，电动机齿光整前因倒棱产生棱边尖锐且有毛刺，造成啮合时产生异响，光整后由倒棱产生的翻边毛刺得以去除，齿轮端面与齿面光滑过渡，去除翻边毛刺效果十分理想，解决了传统手工使用锉刀去除毛刺的低效性。



（a）光整前　　（b）光整后

图4　电动机轴光整对比



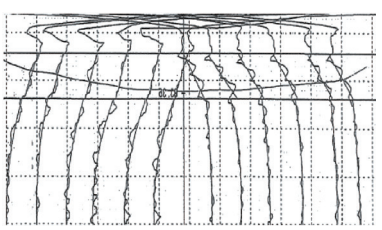
（a）光整前　　（b）光整后

图5　电动机齿光整对比

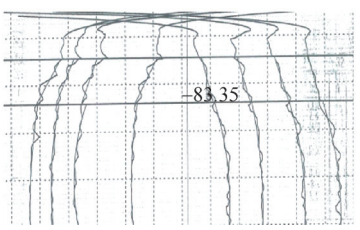
2.齿顶反翘

如图6a所示，电动机齿经强力喷丸后造成齿顶反翘现象，齿轮啮合过程中噪声异常明显，是机械加工中必须要避免的现象，经过光整加工后工件左齿面齿顶反翘现象得以消除，但右齿面去除效果仍不理想，通过分析加工原理和工艺设计，发现光整加工时小滚筒带动工件的自转和绕大滚筒的公转方向虽然相反、速率高，但齿轮仅为一个面为主动接触面，效果理想，另一个面则为被动接触，出现如图6b所示的左齿面齿顶反翘被消除，右齿面无明显改善的情况。

为保证齿轮左、右齿面齿顶反翘得以消除，在原有工艺的基础上，增加小滚筒的反转，使右齿面也处于主动接触磨料状态，反转后加工时间仍为12min，如图7b所示，左、右齿面的齿顶反翘均得以消除，从齿形的波动曲线可以看出，齿形形状误差也有所减小。

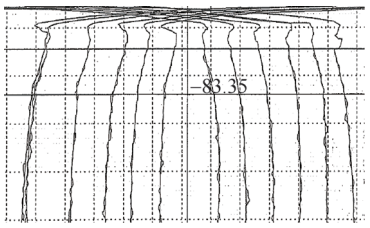


（a）光整前

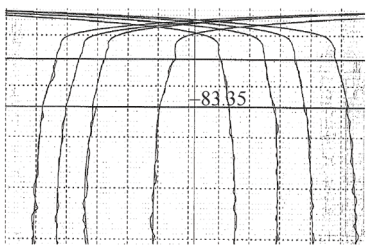


（b）光整后

图6　电动机齿齿形（工艺调整前）



（a）光整前



（b）光整后

图7　电动机齿齿形（工艺调整后）

3.齿面粗糙度

电动机齿齿面粗糙度值要求Ra＜0.8mm和Rz＜4mm，磨齿后较容易保证，但强力喷丸后Ra往往超差不满足产品要求，强力喷丸后齿面粗糙度值Ra=0.88mm，Rz=3.88mm，经过光整后齿面粗糙度高点被相应削减，提高至Ra=0.79mm、Rz=3.59mm，满足产品要求，说明光整加工对提高齿面粗糙度有较好的改善作用。

4.残余应力

电动机齿残余应力见表3。经滚磨光整加工后，电动机齿齿面和齿根残余应力均提高200MPa左右，残余应力要求不高的情况可以考虑光整加工替代强力喷丸，对残余应力要求较高的零件可以考虑“强喷－光整”工艺来解决现有问题，可以相应降低强力喷丸的要求，并由光整工艺来弥补，这种工艺不仅可以满足产品要求，降低强力喷丸要求的同时也可减小由强力喷丸产生的齿顶反翘以及齿面粗糙度超差的问题。

表3　电动机齿残余应力　（单位：MPa）

检测位置	产品要求	光整前	光整后
距表面10μm（齿面）	≥500	629	841.6
距表面10μm（齿根）	≥500	629	855.8
距表面30μm（齿面）	≥800	853	1023.7
距表面30μm（齿根）	≥800	853	1060.5

5.轴承挡参数

电动机齿轴承挡参数见表4，电动机齿轴承挡尺寸减小量为1～3μm，去除量较小；轴承挡的圆度、直线度在原有磨削基础上均有相应提高，并没有因为光整加工而破坏轴承挡的尺寸精度和形位精度。

表4　电动机齿轴承挡参数　（单位：mm）

工件状态	轴承挡1	圆度1	直线度1	轴承挡2	圆度2	直线度2
光整前	25.0265	0.0018	0.0044	25.0237	0.0012	0.0026
光整后	25.0247	0.0009	0.0034	25.023	0.0008	0.0016

结语

本文通过对滚磨光整加工原理分析，结合新能源变速器中的齿轴类关键零件出现的翻边毛刺、齿顶反翘、齿面粗糙度值超差等问题，对变速器中的电动机轴和电动机齿进行滚磨光整加工试验研究，并对研究结果进行分析，得出如下几条结论：

（1）通过滚磨光整加工，有效地去除了电动机轴结合齿和电动机齿倒棱产生的翻边毛刺，棱边接触区域形成圆弧，过渡更加平滑。

（2）齿面强力喷丸后产生的齿顶反翘问题，经滚磨光整加工，有效地消除了齿顶反翘现象。

（3）齿面强力喷丸后产生的齿面粗糙度超差问题，经滚磨光整加工，有效减少了齿面微观高点数量，提高了齿面粗糙度。

（4）通过滚磨光整加工，提高了齿面及齿根处的残余应力，提高了零件使用寿命。

（5）通过滚磨光整加工，轴承挡处材料去除1～3um，轴承挡原有的圆度和直线度等形位精度有所提高。

（本文为2019第二届汽车工艺师论文大赛参赛作品）AUTO1950