电火花线切割在淬硬齿轮加工中的应用

扫码了解更多

山推工程机械股份有限公司　（山东济宁　272073）　权中华　翟展新　宫　涛　李　炎

摘要：巧妙采用电火花线切割设备，精加工渗碳淬火后的内齿圈齿面，并从三个方面对线切割工序余量进行分析与确认，解决了淬火后的齿部变形难题。

在齿轮加工领域，齿轮齿形表面根据硬度可分为软齿面、中硬齿面和硬齿面三种。其中软齿面硬度在280HBW以内，中硬齿面硬度在280～400HBW，硬齿面硬度在45～64HRC。

1. 硬齿面齿轮的特点

提高齿轮齿面硬度，可以显著提高齿轮的承载能力。当齿轮齿形的表面硬度提高至渗碳淬火硬度（硬齿面）时，与一般调质齿轮（中硬齿面）相比，其传递的扭矩可提高三倍左右。在传递扭矩不变时，齿轮副的质量可降低至原来的40%。提高齿轮齿面硬度，同时还可显著提高齿面的耐磨性。

2. 公司硬齿面齿轮制造现状

推土机是一种低速重载机械，其终传动及中央传动部件中的齿轮表面硬度多在58～62HRC，属于硬齿面齿轮。传统加工方式为磨齿，工艺效率低、成本高。20世纪80年代，我公司引进了大负前角整体硬质合金焊接刮削滚刀，硬质合金刀片焊接在高速钢刀体上，采用硬齿面滚齿工艺代替磨齿工艺，提高了加工效率，降低了成本。

随着推土机产品的升级换代，推土机终传动结构由原来的两级外齿传动改进为行星传动，行星传动内齿圈的淬火后加工成为一个新的工艺难题。国内外企业对于该类型齿轮大多在渗碳淬火后，不对齿面处理或采用磨削加工。在公司现有工艺能力下，无法进行淬硬内齿圈齿面加工，而受制于热处理水平因素，渗碳淬火后齿部变形，无法达到图样要求。

以公司某型号内齿圈为例，模数9、齿数76、压力角20°，图样要求精度国标8级，齿面粗糙度值R_a=3.2μm，其材质为低碳钢，图样要求齿面硬度为58～62HRC，其现行加工工艺路线为：锻造→正火→粗车→半精车→插齿→渗碳淬火→精车。

3. 采用电火花线切割加工淬硬内齿圈的工艺方案

电火花加工是在一定的液体介质内，利用脉冲放电对导电材料的电蚀现象来蚀除材料，从而使零件的尺寸、形状和表面质量达到预定技术要求的一种加工方法。其特点是加工过程不受工件硬度的影响。

电火花线切割加工是利用移动的细金属丝作工具电极，按预定轨迹进行脉冲放电切割。按线电极移动速度的大小分为高速走丝和低速走丝线切割。

采用电火花线切割在淬火后对齿面进行加工，其加工工艺路线为锻造→正火→粗车→半精车→插齿→渗碳淬火→精车→线切割，在线切割工序对内齿圈齿部精加工。该工艺方案的难点主要在于线切割的工序余量，从以下3方面对线切割工序余量进行确认：

（1）硬化层深度。图样对齿面硬化层深度要求为2～3mm，齿根部硬化层深度为1.5～2.5mm。而在公司现有热处理水平下，齿面硬化层深度最深可到（4±0.3）mm，齿根部最深可达（2.3±0.2）mm。为保证线切割过程中的切削连续性，齿面及齿根部应被同时切割，以余量较小的齿根部余量来确定线切割工序余量，最大不应超过0.6mm（齿面单边），换算为跨棒距M值余

量约3.1mm。

（2）热处理变形量。为保证线切割能完全切出齿面，线切割工序余量应大于热处理变形量。从现场任取3件该齿圈，在淬火后对齿圈的*M*值分别进行测量，数据如附图所示。

从测量数据可以看出，淬火后*M*值的最大缩量为0.61mm，最小缩量为0.28mm，淬火后齿圈*M*值自身最大变动量为0.6mm。为保证所有齿圈均能被完全切出齿面，以淬火后齿圈*M*值自身最大变动量为参考，在此基础上根据经验加0.6mm，将数据中的最小缩量0.28mm预留到淬火之前，综合确定*M*值余量应≥0.92mm。

（3）线切割用钼丝直径。为保证线切割时钼丝可完全进入金属内部，齿面单边余量不应小于钼丝直径，公司现用的钼丝直径一般为0.18mm。由此确定的线切割工序余量，最小应＞0.18mm（齿面单边），换算为*M*值余量约为0.7mm。

根据以上3方面的数据分析，确定以*M*值评价的线切割最小余量为0.92mm。

利用电火花线切割对该齿圈加工后，齿圈精度可达到国标7级，齿面粗糙度值可达R_a=3.2μm，精度超过了图样要求。

4. 结语

该工艺方案实施后，淬硬内齿圈齿面加工问题得到了解决。该方案尤其适用于新产品开发阶段中的单件试制及小批量试制。在电火花线切割淬硬内齿圈工艺方案成功实施后，我们将其推广至硬齿面内花键的加工上，同样取得了成功。

参考文献：

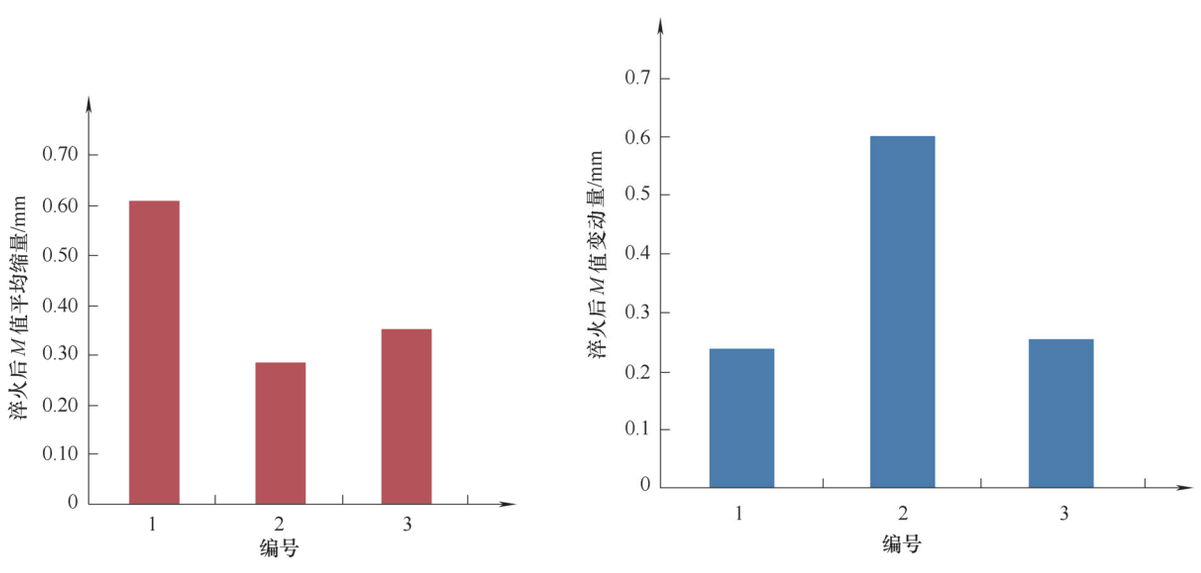
[1] 齿轮制造加工速查手册编委会. 齿轮制造加工速查手册[M]. 北京：机械工业出版社，2012.

[2] 郝建忠. 机械测量技术 [M] . 北京：电子工业出版社，2011.

MW（收稿日期：20171228）

专家点评

受制于热处理技术水平，渗碳淬火后的内齿圈会出现一定程度的齿部变形，现有的切削设备很难对淬硬后的齿面进行磨削加工。作者巧妙采用电火花线切割设备，解决了这一难题。虽然线切割淬硬齿轮的效率和齿面粗糙度质量较低，但毕竟是一种新型实用的工艺方案，在硬齿面内齿圈和内花键的小批量加工中具有很好的优势。文章从3个方面对内齿圈线切割工序余量进行数据汇总和确认，最终确定了以跨棒距*M*值为测量单位的线切割最小余量，为淬硬内齿圈的电加工方案提供了理论依据和实践经验。



淬火后齿圈*M*值变化量