

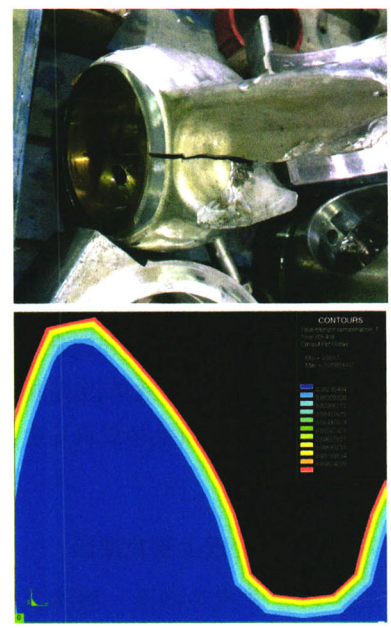
热处理篇

Heat-treatment

本期热处理篇安排了失效分析、渗碳两个栏目。

失效分析主要安排了齿轮、凸轮、试压塞体内壁、铝合金连杆、推土机松土器和截止阀阀杆等部件的失效分析，具有可借鉴性。渗碳栏目有渗碳工艺、渗碳层检测、渗碳软件应用以及渗碳不合格件改进等，是与渗碳有关较为宽泛的内容。

栏目主持：朱光明





齿轮磨削裂纹产生原因的排查和改进

薄文丽

我公司是生产高端减速机的专业厂家，在2013年4~5月，用R800 HOFLEER磨齿机磨齿时出现了大批的齿面磨削裂纹。磨削裂纹分布在不同模数、不同齿数的齿轮上，大小齿轮共计41件，给公司造成了一定的经济损失。

本文从失效的齿轮上出现的裂纹形态和位置上分析，通过对齿轮热处理工艺、磨齿参数、磨齿切削液及偏磨上展开调查研究，从而制订了有效的改进措施，实现了防止质量事故再发生的目的。

1. 从热处理上查找原因

(1) 井式炉渗碳、缓冷、二次加热淬火、回火 在R800 HOFLEER磨齿机上，对井式炉处理的模数为5mm、齿数为68的齿轮进行磨削，发现有两个齿轮在其相邻4或5个齿的右齿面出现网状裂纹，齿轮其他部位没有裂纹。裂纹形态如图1所示。

(2) 箱式多用炉一次性加热渗碳、淬火、回火 对多用炉处理的齿轮进行磨削，发现齿轮，相邻几个齿的右齿面有大量网状磨削裂纹（见图2），齿轮的其他部位没有裂纹。

井式炉和箱式炉，两种不同

的热处理设备、不同的热处理方式，但出现裂纹的情况一样。检验失效齿轮齿顶硬度：井式炉处理的齿轮硬度为59.5HRC、60.0HRC、60.5HRC；箱式炉处理的齿轮硬度为59.2HRC、59.8HRC。技术要求为59~62HRC，实测硬度满足要求。

(3) 热处理由一次回火改为二次回火 为了降低热处理应力对齿轮磨削的影响，将热处理一次回火改为两次回火。试验后发现，两次回火的齿轮也有磨削裂纹，对控制磨削裂纹的产生没有起到明显作用。

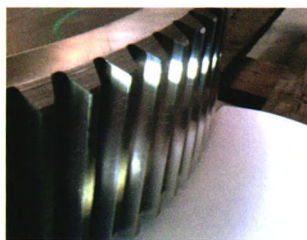
(4) 微观检测裂纹齿轮 对出现裂纹的齿轮，在有裂纹的齿上取样，检查渗层深度和金相组织。试样检测结果如下：

左齿面：残留奥氏体（20%~25%）+回火马氏体，碳化物为1级。金相组织合格（见图3a）。

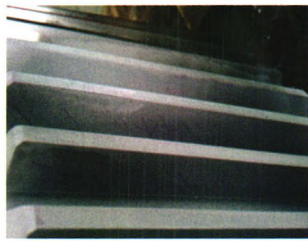
右齿面：回火马氏体，碳化物为1级（见图3b）。

左齿面有效硬化层深度为1.619mm（见图4a）。

右齿面有效硬化层深度为1.601mm，齿面有烧伤（硬度法检测时，从齿面到齿的心部0.4mm的距离，维氏硬度值上能



(a)



(b)

图1 井式炉处理后右齿面网状裂纹



(a)



右齿面

右齿面

(b)

图2 箱式多用炉处理后右齿面网状裂纹

反映出来，明显低于左齿面相应位置硬度，见图4b)。

左齿面0.4mm处，硬度57.5HRC正常。

右齿面0.4mm处，硬度54HRC，右齿面磨齿烧伤导致硬度降低3.5HRC。

从上述排查结果可见，虽然轮齿左右两齿面的渗层深度几乎一样，但由于右齿面严重烧伤，金相组织也发生了转变，使得离表面到0.4mm处的维氏硬度低于左齿面相应位置的硬度。

2. 改善磨齿工艺参数和磨齿条件

磨齿工艺参数和磨齿条件对磨削裂纹的发生有很大关系。以下是对R800 HOFLE和H700 HOFLE磨齿机改变磨齿参数和磨齿条件的过程和结果。

(1) R800 HOFLE磨齿机磨削 改变喷油嘴位置，将油嘴更加靠近工件（见图5），使两个油嘴与砂轮距离更加平均。

调整重叠率，使砂轮表面稍微粗糙些，在磨削过程中带走一些热量。增加砂轮修整次数（粗磨7齿修整一次，精磨10齿修整一次），使砂轮表面更加锐利。增加冲程次数（相同模数齿轮冲程次数由10~12增加至14~16），使其磨削过程中减少磨削热量。

通过以上4点改变，均无效果，磨两件裂一件。针对以上情况，再次调整，改到H700 HOFLE磨齿机上磨齿。

(2) H700 HOFLE磨齿机磨削 磨削参数与R800 HOFLE磨削基本相同，在冷却方式略有不同的情况下磨削5件齿轮，经检验未出现裂纹，表明R800

HOFLE磨齿机的磨削工艺和磨削条件有问题。

(3) 调整R800 HOFLE磨齿机 由于无新鼓轮可供使用，将R800 HOFLE金刚鼓轮左右调换。为了使切削液中杂质充分过滤，更换过滤器的滤网。加长喷油嘴长度（见图6），使油嘴

更接近砂轮与齿轮磨削时结合部位，使冷却更充分。

以上的调整取得一定的效果：磨削6件，经检验只有一件出现磨削裂纹，其他未出现裂纹。磨齿参数改变后对防止磨削裂纹的出现有明显的效果。

更换磨齿机的鼓轮，新鼓轮

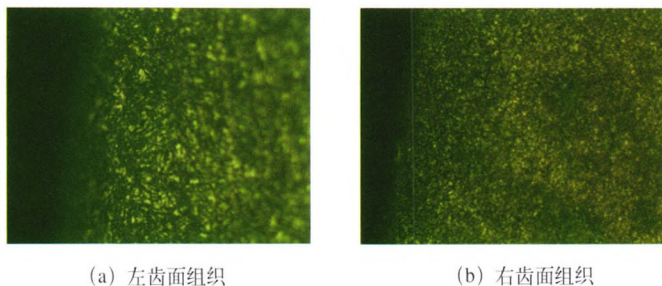


图 3

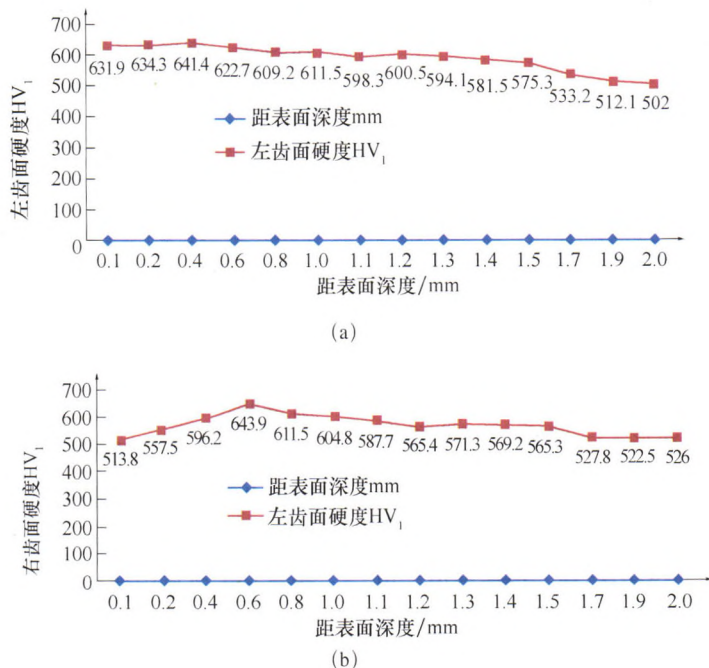


图4 左右齿面有效硬化层深度的显微硬度测定数据



图5 油嘴位置更加靠近工件

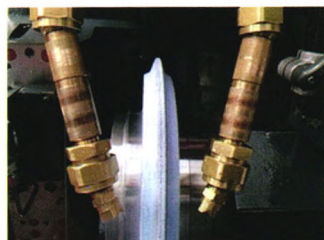


图6 加长喷油嘴长度

(下转49页)

工序不变。

工序过程：油炉去应力，温度120℃左右，保温24h；凸轮型面喷丸（内孔保护）。

由于凸轮要求具有高硬度、高耐磨性和适当韧性。渗碳后不仅要求表面硬而耐磨，同时也要求心部有较好的塑性和韧性。但因其实际上相当于表层高碳钢与心部低碳钢的一种复合材料，因此选用较低的退火温度可以满足两者兼顾的要求。由于零件已经过渗碳淬火及两次回火处理，所以选择比之前回火温度（150±20）℃低的温度进行去应力退火处理，不会影响其硬

度。油炉去应力退火后马氏体发生分解，析出碳化物，形成回火马氏体，稳定了残留奥氏体，淬火内应力得到部分消除，冷加工或热加工快冷后产生的微裂纹也大部分得到愈合，而且油炉能保证零件具有较小的变形量，之后再再进行表面喷丸使其表面形成压应力状态，对于防止凸轮产生裂纹也有一定的作用。

调试结果：生产258件，5件出现裂纹，合格率为98%。

4. 结语

拉削加工极易使零件产生应力，用线切割来代替拉削加工，

基本避免了基体内部产生残余应力，防止了裂纹的产生。

油炉去应力退火及表面喷丸可以去除机加工及热加工过程中零件内部和表面产生的残余应力，可以有效防止裂纹的产生。

在实际生产中，线切割加工效率低下，无法满足生产需求，所以最终采用第二种工艺改进方法，取得了良好效果。

作者简介：兰忠杰、王频，陕西柴油机重工有限公司，生产技术部。

MW 20140618

（上接47页）

要求所有的磨齿参数都恢复到原始规定参数，见表1。

改善磨齿参数后，磨削12件，经检验只有一件出现磨削裂纹，其他未出现裂纹。磨齿参数的改变对控制磨削裂纹的产生效果越来越好。

（4）继续改善磨齿条件 整体清理更换R800 HOFLEER切削液，换回最初的油嘴并加长。改变R800 HOFLEER磨齿机冲程，提高磨削速度，参数见表2。要求磨前注意找正，防止偏磨。

更换切削液和杜绝齿轮偏磨后，磨削22件齿轮，磨削正常，没有磨削裂纹，达到改善的目的。

3. 分析与讨论

（1）从裂纹形态分析 齿面裂纹为网状裂纹并且出现裂纹的齿面有严重的烧伤，证明齿面的裂纹是磨削后产生的，为磨削裂纹。有烧伤表明磨削时冷却能力差，改善磨齿参数后，效果越来

越好，最后改善切削液后，磨削裂纹彻底消除。

（2）从裂纹位置分析 裂纹总是集中在连续几个齿的右齿面，表明热处理造成齿轮局部齿变形大，当磨这几个齿时，磨削量就大，采用正常冷却条件也不能满足冷却能力的要求，从而导致出现齿面烧伤和磨削裂纹。

4. 结语

（1）齿面产生磨削裂纹是

因为磨齿时冷却能力不足和磨削量不均匀（热处理变形过大）所致。因此，齿轮热处理时要注意工件的摆放，尽量减小齿轮的热处理变形。

（2）齿轮磨削前的对刀要非常仔细，尽可能做到轮齿两个齿面的磨削量均匀。

（3）切削液长期使用，其油性和清洁度将发生改变，因此应该定期更换切削液。

表1 R800 HOFLEER磨齿机冲程参数

进给量/mm	进给速度（粗精磨）/mm·min ⁻¹	重叠率（粗精磨）
0.03	3000/2500	6/4（2.5）

表2 改变R800 HOFLEER磨齿机冲程参数明细

项目	进给量/mm	进给速度/mm·min ⁻¹	V _w /mm ³ ·mm ⁻¹	Q _w /mm ³ ·(mms) ⁻¹	冲程次数	
1（粗磨）	0.03	6000	600	≤8	12	16
2（半精磨）	0.02	3500	400	≤4	1	
2（半精磨）	0.02	3000			1	
3（选择区域磨）	0.015	2500	≤150	≤2	1	
3（选择区域磨）	0.01	2200			1	

作者简介：薄文丽，沃德（天津）传动有限公司，质量部。

MW 20140516