

某车型变速器齿毂开裂分析

章康乐

麦格纳动力总成（江西）有限公司 江西南昌 330013

摘要：针对某型汽车变速器耐久试验时出现齿毂开裂的原因进行分析。通过宏观观察、尺寸检查、金相检验、硬度测试、化学成分分析、SEM分析及有限元分析等检测和分析方式，结合齿毂的功能和受力情况，对齿毂开裂原因做了相关分析。

关键词：齿毂；粉末冶金；开裂；疲劳裂纹源

DOI:10.16173/j.cnki.ame.2024.09.011

随着汽车NVH性能要求不断提升，对同步器的要求也在不断提高。质量轻、精度高、耐磨性好的粉末冶金齿毂得到了越来越多的应用。P750型变速器为麦格纳动力总成（江西）有限公司新开发的变速器，采用了粉末冶金齿毂。在进行耐久试验时，拆箱检查发现不能正常分离同步器齿毂齿套，进一步拆解发现齿毂U形槽口出现裂纹。随后开展一系列的分析，确认导致齿毂开裂的原因并采取对应的措施解决该问题。

问题提出

在P750变速器开发阶段，耐久试验箱运行至46%循环时出现齿毂齿套不能正常分离的故障。拆箱检查发现齿毂U形槽处开裂，如图1所示。该齿毂材料为D32，工艺路线为“成形-烧结-回火-整形-检验”。



图1 齿毂U形槽处开裂

理化检验

拆出齿毂，从宏观、微观、物理、化学和尺寸等方面对齿毂和断口做进一步的检查和分析。

1.宏观观察

裂纹自U形槽起始，到达腹板根部，几乎延伸至下一个U形槽，如图2所示。

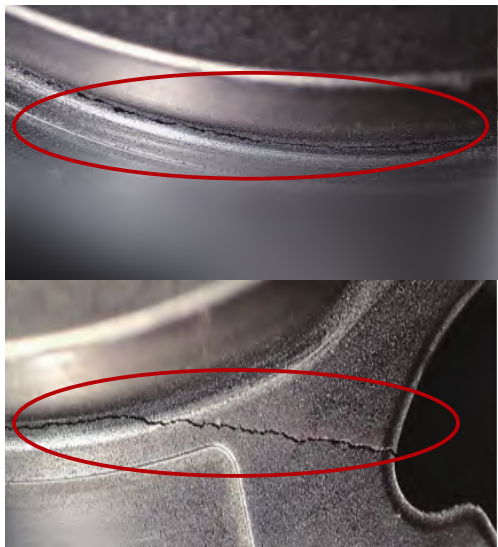


图2 U形槽裂纹

2.金相检验

在断口处取金相试样检验，其组织为马氏体+富镍奥氏体+贝氏体，无异常，如图3所示。

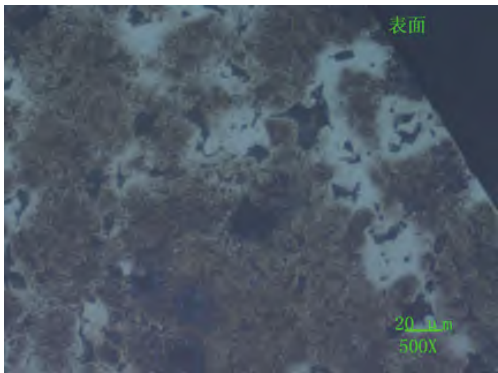


图3 U形槽断口处金相组织

3.硬度和密度检测

断口处取样检测硬度，要求 $\geq 300\text{HV5}$ ，实测结果合格，检测数据见表1。

齿毂密度要求为 $(7.1 \pm 0.1) \text{ g/mm}^3$ ，实测 $7.069 \sim 7.095 \text{ g/mm}^3$ ，符合要求。

4.SEM分析

打开断口，使用SEM对断口形貌做检查分析（见

表1 U形槽断口处硬度检测结果

硬度测试 HV5	检测点1	检测点2	检测点3	检测点4	检测点5
位置1	344	373	388	365	367
位置2	345	343	358	352	357
位置3	353	379	346	346	363

图4)。裂纹源区有烧结颈和疲劳辉纹，未发现其他缺陷；裂纹扩展区可见烧结颈和疲劳辉纹；瞬断区可见烧结颈和韧窝，整个断面未发现有生坯形貌，如图5所示。结合断面的疲劳辉纹和零件工况，零件是在台架

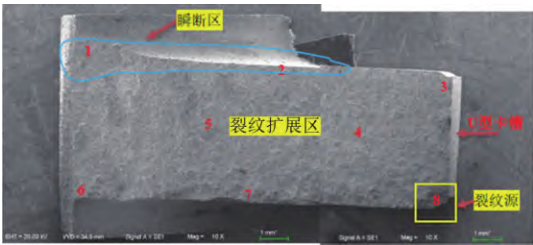
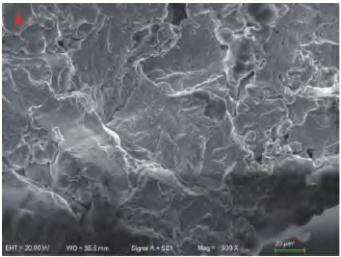
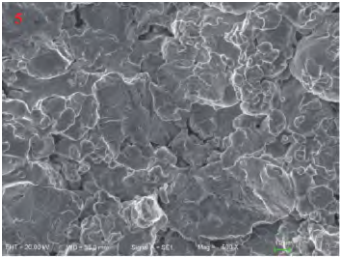


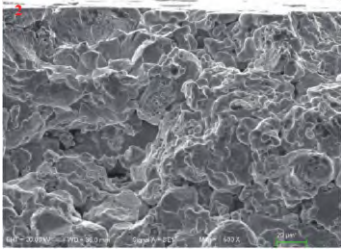
图4 断口形貌检查分析



a) 裂纹源区



b) 裂纹扩展区



c) 瞬断区

图5 断面不同部位金相组织

试验时发生的疲劳断裂，疲劳源位于U形卡槽端面的倒角处。

5.尺寸检验

对齿毂相关尺寸做检查，现有能检测的尺寸均合格。

对齿毂U形槽做放大检查，发现槽口表面存在数量较多的毛刺，如图6所示。



图6 U形槽槽口有较多毛刺

U形槽表面存在的毛刺会导致表面材料不完整、不连续并增加粗糙度值，成为应力集中源，降低疲劳极限，导致疲劳断裂^[1]。

有限元分析

齿毂强度的有限元分析结果如图7所示。齿毂应力

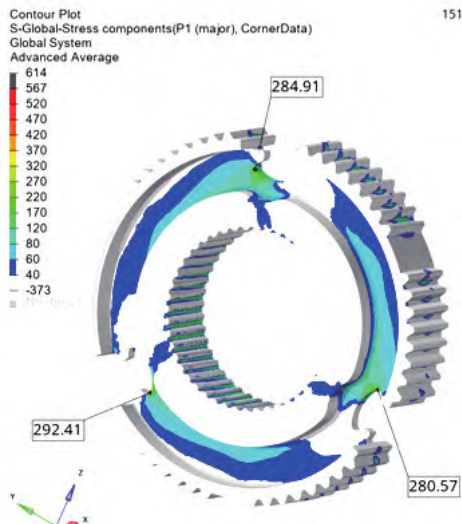


图7 齿毂强度有限元分析

最大处为花键根部和U形槽，但其安全应力值低于材料屈服强度（588MPa），结构和材料强度能够满足设计要求。

综合分析

综合上述理化检验、受力和结构分析，该齿毂的材料、热处理、结构均满足设计要求。导致U形槽开裂的原因可能为表面的毛刺缺陷引起应力集中，在交变应力作用下成为疲劳裂纹源，最终引起齿毂疲劳失效。

改进措施

结合上文分析可能的失效原因，安排同批次的齿毂做喷砂去毛刺处理^[2]，100%目视和轮廓检查U形槽表面后再安排装机耐久试验，其试验结果见表2，齿毂经喷砂处理后均通过耐久试验且检查无裂纹。据此，齿毂供应商增加喷砂工序或者其他解决毛刺的措施。

表2 改进后耐久试验结果

齿毂类型	箱号	试验类型	试验结果	裂纹检查	毛刺大小/mm
原状态	DuopEzP750013	耐久试验	未通过	目视裂纹	0.1822
原状态	DuopEzP750014		通过	探伤裂纹	0.121
原状态	DuopEzP750016		未通过	目视裂纹	0.108
原状态	DuopEzP750020		通过	探伤裂纹	0.113
喷砂	DuopEzP750031		通过	无裂纹	0.0219
喷砂	DuopEzP750032		通过	无裂纹	无毛刺
喷砂	DuopEzP750033		通过	无裂纹	无毛刺
喷砂	DuopEzP750034		通过	无裂纹	0.015

参考文献：

[1] 孙智，任耀剑，隋艳伟.失效分析-基础与应用[M].北京：机械工业出版社，2017。
[2] 吴松，陈其玲，马少波，等.粉末冶金零件毛刺的产生原因与去除技术[J].山东冶金，2014，36（4）：4-6.**AUTO1950**