

# 齿轮热塑流变失效分析

牛俊民

**关键词：** 机械制造 失效分析 齿轮 热塑流变

**摘要：** 高速齿轮在使用过程中发生齿面的堆塌而失效，文章分析了堆塌形成的原因是由于出现润滑故障，形成干摩擦，致使齿轮表面局部温升产生热塑流变，最终导致齿肉损伤，齿轮失效。防止热塑流变失效的根本对策是防止出现供油系统故障。

## 一. 齿轮的概况及技术要求

我公司为南京钢厂生产的 15<sup>#</sup> 轧机分配减速箱齿轮轴和齿轮在达产不久，沿圆周一圈出现堆塌现象，齿面出现氧化色（兰紫色），见照片 1。局部堆塌发生在四个咬合齿轮的同一水平见照片 2。



照片 1 齿轮堆塌情况（局部）



照片 2 齿轮堆塌情况（宏观）

分配减速箱工作状况，它共有齿轴 3 根，齿轮 1 个，3 根齿轴都是 30 齿，齿轮 53 齿，模数  $m12$ ；所有材质均为  $20CrNi_2MoA$ ，都是渗碳淬火的硬齿面，硬度  $HRC56\sim60$ ，输入轴转速为 974 转/min；齿顶外圆直径为 390mm，解剖齿轴 3 是空心，单重 256Kg；齿轴 1 是实心，单重 363 Kg。

图纸技术要求，基体调质处理，制造厂采用正火处理；齿面及齿根表面渗碳淬火，齿面有效硬化层深不低于 2.2mm，硬度  $HRC56\sim60$ 。

## 二. 解剖齿轮的试验情况

制造厂对损坏的齿轴 3 和齿轴 1 进行了解剖试验，在齿轴 3 堆塌区切取横向低倍试片，厚度 40mm；在齿轴 1 非堆塌区切取横向低倍试片，厚度 30mm；另外，在齿轴堆塌区域表面有翘起的薄片，对这部分也制取了试样。

### 1. 化学成分分析

在两根齿轴上都钻取了试样，分析结果见表 1，结果都符合标准。

表 1 齿轴化学分析结果

名称	C (%)	Mn (%)	Ni (%)	Cr (%)	Mo (%)	备注
齿轴 3	0.21	0.62	1.75	0.50	0.23	
齿轴 1	0.21	0.55	1.75	0.62	0.22	

2. 机械性能

在齿轴 3 试片的 1/3 (离齿顶) 半径处取切向机械性能试样, 试验结果见表 2。  
另外在齿轴本体的未堆塌区齿顶测量洛氏硬度, HRC 为 56。

表 2 失效齿轮横向切片的机械性能

委托单位	处办	名称	齿轮轴	材质	20CrNi <sub>2</sub> MoA	日期	2000 年 3 月
委托编号	抗拉强度 $\sigma_b$ N/mm <sup>2</sup>	屈服点 $\sigma_s$ N/mm <sup>2</sup>	延伸率 $\delta_5$ %	端面收缩 率 $\psi$ %	冲击值 Ak J	硬度 HRC	备注
1-1	715	535	18	47	91	16	
2-1	730	575	21	53	95	17	
3-1	745	580	20	55	107	18	
说明	以上数据已经换算成纵向。						

3. 低倍及金相分析

两根齿轴的低倍试片除树枝晶比较粗大外, 心部无异常。齿顶部分见照片 3, 齿顶都有明显的流变线, 流变均在同一方向。

切取有流变线的齿作金相观察, 发现马氏体、贝氏体呈明显的带状分布。带状组织的出现, 说明有再结晶发生过。

照片 4~6 是流变部分由 25× 到 200× 的组织情况。

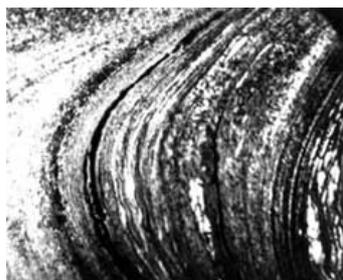
照片 7 是在翘起薄片上所做的金相照片, 可以看出它同样有明显的带状, 且马氏体粗大。

齿轮心部的组织为索氏体, 见照片 8。

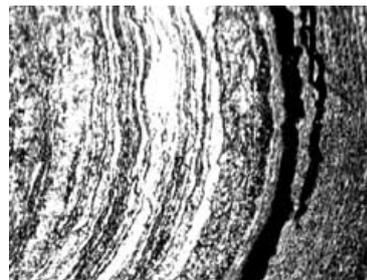
对齿轴 1 无流变部位的齿作金相观察, 齿表面为马氏体组织; 齿心部为索氏体。



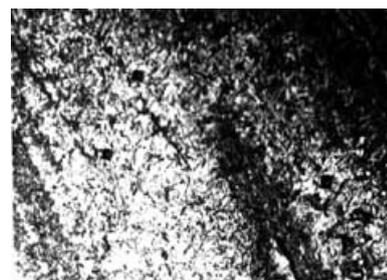
照片 3 流变齿顶的低倍组织



照片 4 流变部分 25×



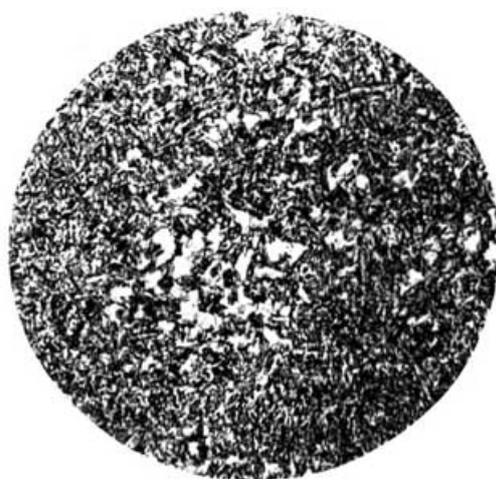
照片 5 流变部分 带状组织 100×



照片 6 流变部分 马氏体 200×



照片 7 流变翘起部分 马氏体 100×



照片 8 解剖齿心部组织 索氏体 100×

### 三. 对失效过程的分析

15# 轧机分配减速箱齿轴的工作形式是立式的，在齿面的上部和下部各有一个喷油嘴，热塑流变发生在正对上喷油嘴的位置上，很可能是由于上喷油嘴被堵或者出现故障，不能正常供油，齿轮润滑油膜被破坏。从摩擦学角度来讲，油膜在齿轮摩擦过程中起着非常关键的作用，通过油膜还可以带走摩擦生成的热量，从而使齿轮处于良性工作状态。一旦上喷油嘴出现故障，由于是立式结构，下喷油嘴又起不到补充作用，这就使齿轮上部出现干摩擦，使大量的机械能转变为热能，导致齿面变软、变形，继而产生剧烈温升，出现热胶合并沿滑动方向引起拉伤，齿顶变尖，齿面出现氧化色（兰紫色），齿形被完全破坏，由于齿面的变形又加剧了热量的生成，这样恶性循环的结果，就使这部分齿面进入塑性状态，并在咬合力的作用下产生热塑流变。

### 四. 预防齿轮发生热塑流变失效的措施

通过对齿轮失效过程的分析，可以看出齿轮在运行过程中形成良好的油膜以及保证供油系统的重要性，预防措施主要围绕这两个方面：

1. 改进润滑系统，加大供油量，并防止出现润滑故障，避免润滑系统给油不足和中断。
2. 使用洁净合格的油品。
3. 从设计角度，应避免单一喷油嘴，以保证一个喷油嘴被堵供油不会中断。有条件时增加油路故障报警系统，以便及时发现排除故障，在此之前应加强人员监测。
4. 从机械制造角度，应保证机械制造精度，使齿轮形成良好的油膜。

此项试验得到西安交通大学马宝钿等老师的指导和支持，在此一并表示谢意！



↑  
访问我们的官方网站了解更多内容

← 扫描二维码关注