# 机车牵引主动齿轮断裂失效原因分析

北京南口机车车辆机械厂 （北京 102202） 武德全

我厂为东风4D内燃机车配套生产的牵引主动齿轮，在某机务段运行约30万km后发生断裂，造成机破事故。断裂为沿齿根通裂（见图1）。



图1 主动齿轮实物失效外观

主动齿轮的材质为20CrMnMoA渗碳钢。其工艺流程为锻造→正火→机加工→渗碳→淬火→回火处理→磨加工和探伤等，设计使用寿命为2个厂修期，约100万km。因此该主动齿轮的失效系早期断裂破坏。

**1. 断口宏观检验**

（1）靠近机车牵引电机端的齿轮各齿有半个齿宽内均发现磨损带，磨损带位置紧靠齿根，个别磨损带出现片状剥落；齿轮内径表面存在严重剥落，沿轴向分布。

（2）清洗断口检查，断口宏观形貌为疲劳断口，呈明显“贝壳”花纹状，有一大一小两个疲劳源，均位于齿根过渡圆角处，疲劳裂纹扩展主要在靠近牵引电机端的半个齿宽内进行，见图2。

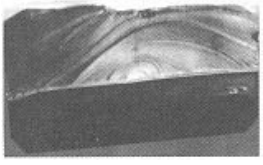


图2 断口宏观形貌

对断裂处两齿横向切取全截面试样，在抛光状态（未酸浸）下，发现齿根两过渡圆角处各有一条深为1.5mm的裂纹，见图3、图4。作酸浸低倍检测，未见低倍缺陷。

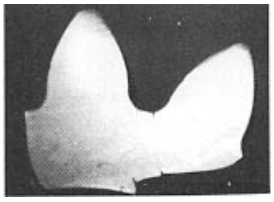


图3 全截面齿根裂纹



图4 齿根裂纹起始部位

**2. 微观检验**

从SEM中观察断口可以看出，断口表层为沿晶脆性断口，顺着裂纹其断口为韧窝加沿晶混合型断口，中部为韧窝断口，见图5、图6和图7。



图5 表层始断区

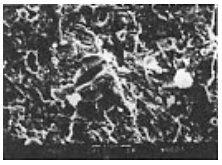


图6 裂纹扩展区

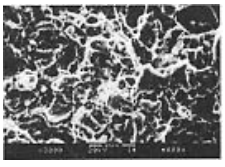


图7 中心区

**3. 样品检验**

（1）化学成分及非金属夹杂物 断裂样块经SPECTRVAC-1000型直读光谱仪测定，其化学

成分符合 GB/T 3077《合金结构钢》中 20CrMnMoA 的要求范围。非金属夹杂物的检测结果见表 1，符合 TB/T 2989《机车车辆用齿轮供货技术条件》的规定要求。

表 1

| 夹杂物种类 | A + C | B | D |
|---|---|---|---|
| 级别 | 2.0 | 0.5 | 1.0 |

注：非金属夹杂物按 GB/T10561 评级图Ⅰ粗系级评定。

（2）金相及硬度检验　对断齿的齿顶、节圆和齿根处进行检测，其结果见表 2。

表 2

| | 表面硬度 HRC | 有效硬化层深/mm | 表面内氧化层深 | 表面脱碳 | 表面碳化物 | 心部组织 | 心部硬度 HRC |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 齿顶 | 60.5 | 1.6 | 4 级 | 3 级 | 1 级 | 3 级 | 37.0 |
| 节圆 | 60.5 | 1.5 | 无 | 无 | 1 级 | | |
| 齿根 | 60.0 | 1.3 | 4 级 | 3 级 | 1 级 | | |

注：金相组织的评定执行 TB/T 2254《机车牵引用渗碳淬硬齿轮金相检验标准》。

检测结果表明，齿顶、齿根表面内氧化级别评定为 4 级，合格级别为 1 ~ 3 级，实测表面内氧化深度约 20μm（标准值≤12μm），其余检验项目均符合标准规定值。节圆处渗碳淬硬层组织为细针状马氏体，碳化物呈细小颗粒状分布（见图 8）；心部组织为板条状马氏体，有少量游离铁素体（见图 9）；齿根处内氧化深约 20μm（见图 10）。

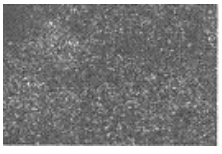


图 8　节圆处渗碳层组织 × 500

**4. 断裂原因分析**

综合以上分析，断口中的疲劳源存在于齿根表面，齿根处在过大拉应力作用下，裂纹发生失稳扩展，引起沿齿根疲劳断裂。原因分析如下：

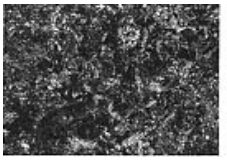


图 9　心部组织 × 500

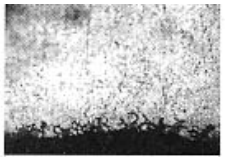


图 10　齿根内氧化 × 500

（1）该失效牵引主动齿轮各齿在靠近牵引电机端的半个齿宽内有磨损带，造成的原因是由于装配精度不够，在运行过程中出现偏载，使齿面局部应力增大，导致润滑油膜破裂，造成主、从动齿轮金属面直接啮合，摩擦力加大，形成齿面磨损和片状剥落。断口中出现两个疲劳源以及疲劳扩展主要发生在偏载区，充分说明偏载导致了半个齿宽应力过大。

（2）从牵引主动齿轮内径存在严重剥落，且沿轴向分布看，说明主动齿轮与电机轴冷压装配时，过盈量较小，造成装配应力过大，在齿根处产生较大的残余拉应力。

（3）齿根表面内氧化深度超标，降低了齿根表层的晶界强度，使齿根部的疲劳强度降低，是导致齿根表面产生裂纹源的内在因素。

**5. 结论及建议**

（1）由于齿根存在有过深的内氧化层，使齿根部的疲劳强度降低，加上装配精度不够，在运行中存在偏载及齿根存在较大的残余拉应力，使微裂纹发生失稳，造成齿根疲劳折断。

（2）严格控制渗碳工艺过程，将内氧化层深度控制在 12μm 以内。大于 12μm 时，可采用喷丸（或抛丸）处理，以提高表面疲劳极限。

（3）在进行装配时，应保证装配精度，特别是在机车大修装配过程中，防止出现偏载现象。

（20040928）

（上接第 53 页）　从而降低因 P 等有害杂质元素在奥氏体晶界上偏聚而引起的回火脆性。另外，由于晶粒细化使晶界总面积大大增加，则单位晶界面积上杂质含量明显减少，并进一步减少了 P 等有害杂质元素在奥氏体晶界偏聚对回火脆性的影响。

**4. 结语**

亚温淬火处理比常规热处理能更有效地提高 40Cr 钢的低温冲击韧性，韧脆转变温度下降近 20℃，抑制回火脆性，并保持较高的强度和硬度，从而获得良好的综合力学性能。这使得 40Cr 钢材料的潜能得到了进一步的发挥，应用更加广泛。

亚温淬火作为一种利用韧性相（铁素体）的强韧化工艺，现已成为亚共析钢强韧化的手段之一。

（20040724）