

支承辊表面裂纹与剥落问题的检测与修复

■ 中国第一重型机械股份公司（黑龙江齐齐哈尔 161000） 侯正云

■ 天津重型装备工程研究有限公司（300457） 刘建红

摘要：本文按照支承辊失效形式进行分类，系统地总结了表面裂纹与剥落问题的现场检测与修复经验，为支承辊下机维护工作提供了参考。

表面裂纹与剥落是支承辊在服役过程中最为常见的一类失效形式。支承辊在服役过程中承受交变热应力的作用，并不断地发生工作层损耗，辊身表面会逐渐形成加工硬化层，萌生出疲劳小裂纹，需要及时下进行机检测与维护，排查工作层质量，清理表面损伤组织。如果处理不及时，轧辊表面就容易形成尺度较大的裂纹，进一步发展就可能引起局部剥落等问题。因此，支承辊的运行状况和运行环境决定了表面工作层本身具有萌生疲劳裂纹、造成局部剥落的倾向。如果工作层局部存在缺陷或者性能不均，萌生裂纹的可能性会更大，形成剥落的速度也会增加。

支承辊的服役环境决定了表面裂纹与剥落问题无法根本性排除，但是如果在支承辊下机后进行规范的检测、对出现的局部问题进行及时有效的修复处理，就可以将此类问题控制在裂纹萌

生阶段，从而避免大面积剥落等情况导致支承辊减径甚至报废的严重后果，这是国内外针对锻钢支承辊普遍采取的维护方式。本文根据实际工作经验对检测与修复的步骤及注意事项进行汇总整理，可对支承辊下机维护工作提供借鉴参照。

1. 表面线性缺陷

这里的线性缺陷指支承辊表面观察到的细长型制造缺陷，如图1所示。形貌上同表面裂纹非常接近，支承辊表面线性缺陷绝大部分属于非金属夹杂物。夹杂物类线性缺陷和裂纹类线性缺陷可通过颜色简单区分。在对相应区域抛光后，裂纹类缺陷难以通过肉眼观察，或者因磁性吸附金属粉末表现为黑线，而非金属夹杂物多呈现为白线或灰白线。无论属于裂纹还是夹杂物，对于原生的线性缺陷，一般尺寸相对较小，可以通过局部打磨的方式去

除，只要做好后续监控和维护工作就不会影响支承辊正常使用。

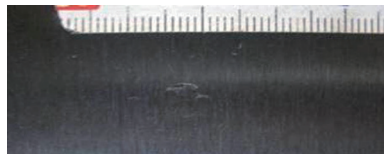


图1 支承辊表面线性缺陷实例，长度约5mm

局部打磨前需要了解缺陷长度和深度，如果长度在10mm以上，深度在5mm以上，可采用角磨机配备砂轮，对相应部位进行打磨，之后换砂纸轮进行抛光，最终采用磁粉或者着色探伤确认无缺陷残留即可。如果裂纹较深，或在打磨过程中发现局部裂纹深度明显超出检测预期，可采用旋转锉对裂纹进行铣削，之后采用角磨机对铣削表面进行修形及抛光。典型的打磨坑形貌如图2所示，除了坑内部需要磨削光滑，坑的边缘也需要做到光滑过渡。

含有打磨坑的支承辊需要监



图2 打磨坑形貌，表面经过着色探伤，并进行过抛光处理

控使用，适当控制轧制量，每次下机后支承辊正常磨削完毕，对原打磨坑部位进行重新检测与修磨，使坑内光滑，坑边缘过渡圆滑，如果有新生裂纹则需要及时将裂纹清理干净。

2. 下机表面损伤组织

(1) 一般性检测与处理。不同厂家支承辊下机后的表面形貌存在差别，同轧线类型、设备情况及维护情况等都有关系，但是辊身表面总是存在一定厚度的硬化损伤层，下机磨辊的目的一方面是修磨辊型，另一方面就是要将硬化损伤层彻底清理干净。

支承辊在磨床上磨削后，即便存在表面裂纹，也很难通过肉眼观察发现，因此对损伤层的清理不能依赖肉眼观察。目前轧辊外圆磨床一般都配备涡流探伤设备，采用涡流探伤优点在于可以在磨削过程中实时检测辊身状态，但是涡流信号容易受到表面局部组织差异、附着物等因素的干扰，容易造成误判或漏检，因此有必要采用表面波、磁粉探伤等表面检测手段予以辅助。

支承辊下机后可以先采用涡流进行在线监测，检测灵敏度可以适当调高一些，避免漏检。对磨削后比较明显的缺陷信号采用

表面检测手段进行二次检测，如果确认属于小裂纹或夹杂缺陷，可以采用同线性缺陷类似的方式予以处理。此外，在支承辊上机3~5个周期后，在通过检测的基础上，还可以适当增加整体磨削量进行深磨，以彻底清除硬化损伤层可能产生的影响。

(2) 聚集性裂纹检查。支承辊下机后可能会发现聚集型裂纹，如图3所示，聚集型裂纹是剥落的早期阶段，需要及时清理去除。聚集型裂纹通常仍然采用局部打磨处理，但由于面积大于线性缺陷，并且裂纹有可能已经向辊身内部延伸，因此需要更为细致的检测工作。



图3 聚集型裂纹及局部打磨修复实例
通常检测工作包含三步：

①对裂纹区进行仔细观察，记录表面裂纹延伸范围，同时可以采取金属物敲击裂纹区表面，通过声音初步判断内部开裂范围，从而对开裂区有一个整体了解。②探伤检测。探伤检测的目



Tool Regrind Machine
五轴全自动刀具磨床



Tool Regrind Machine
四轴全自动刀具磨床



Automatic Drill-Honing Machine
自动钻头钝化机

对象刀具

刀具种类	钻头、铣刀、丝锥、铰刀、3刃钻头、侧刃、3刃倒角刀、不等分铣刀、雕刻刀、枪钻
刀具材质	高速钢 (HSS)、钨钢/ 硬质合金 (carbide)
刀具最大把持直径	φ20 (φ26 ※) ※φ26 规格为选配
刀具长度	45 ~ 200mm

特征

- 操作简单 自动对刀、自动补正偏心 自动研磨
- 对应多种刀具
- 任意设置刀具参数
- 不需编程、可追加新程序，进行版本升级

◆广告 查询编号: 0035

地址: 苏州吴中区金枫路216号
东创科技园C幢108

联系人: 代女士

手机: 13651758961

电话: 0512-62695591

QQ: 642504730

邮箱: cyberrc_dll@aliyun.com

的有两方面，一方面是确认裂纹是否发生周向大范围扩展，即下一节所提到的条带状疲劳裂纹；另一方面是在目视观察的基础上，更准确地确定内部裂纹的延伸范围和深度，从而为进一步处理提供依据。探伤检测需要采用超声探伤，并配合直探头、斜探头使用，对于一般裂纹，通过两种探头检测数据，可以更准确地确定内部裂纹深度和延伸范围，对于已经扩展开的条带状疲劳裂纹，如果和辊身表面接近平行，采用直探头可以更准确地加以检测。③根据检测结果进行修复。对于检测结果，需要同聚集型裂纹的位置和剩余工作层深度相比较。如果开裂区域过大，以至于影响支承辊运行稳定性，则支承辊难以采用局部打磨修复，需要考虑车削减径后配合局部打磨，而对于裂纹深度超过剩余工作层深度的情况，能否修复需要结合实际判断。对于裂纹范围和深度相对有限的状况，一般而言打磨坑的面积宜控制在 $150\sim 200\text{cm}^2$ 以内，并且尽可能避开辊型两侧倒角部位应力较大的区域，但根据实际操作经验，在开裂区域硬度、组织均正常的前提下，打磨坑的深度、大小以及位置要求无需特别严格，但需要确保打磨坑没有任何表面裂纹残余，坑底平整，过渡边缘光滑，此外就是每次下机后进行重新检测、修磨。

3. 条带状疲劳裂纹及大面积剥落

条带状疲劳裂纹是局部表面裂纹向支承辊内部沿周向广泛

延伸所形成，此类裂纹会延伸至淬硬层底部，并在最终形成大面积剥落，因此常会导致支承辊报废，典型案例如图4所示。前述的聚集型裂纹如果得不到有效控制一般都会最终发展为条带状疲劳裂纹，但是此类裂纹的裂纹源亦可能仅由一两条很小的裂纹组成，因此个别表面裂纹的漏检可以导致极为严重的后果。

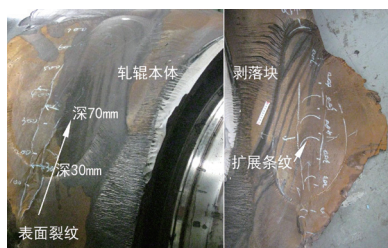


图4 条带状疲劳裂纹及大面积剥落案例

(1) 形成原因和表面形貌。

条带状疲劳裂纹的裂纹源有很多种及硬化层疲劳小裂纹、局部划痕组织软点等均有可能成为最初裂纹源。裂纹一旦形成，在接触疲劳及支承辊周向旋转影响下沿支承辊周向并向内部扩展，形成倾斜裂纹。由于支承辊工作层存在硬度降落，并在淬硬层底部逐渐过渡到低硬度区，导致裂纹在扩展过程中逐渐转向，最终在淬硬层底部转为与辊身表面接近平行。此外，受裂纹尖端应力场分布的影响，此类裂纹的一个重要特点是周向扩展相对有限，甚至被限制在一个狭窄的条带内，因此表现为条带状疲劳裂纹。

条带状疲劳裂纹最终会发展为大面积剥落，剥落形貌特征明显，如图4所示，核心部位为条带状疲劳裂纹，上面可以观察到弧形条纹，凸起方向为裂纹扩展方向，深度上自表面向淬硬层底部

逐渐加大，外围为快速扩展区，自条带裂纹区分布着发散的河流状条纹。

(2) 检测方式。在未形成大面积剥落之前，条带状疲劳裂纹在表面表现为孤立的小裂纹或聚集性裂纹。

对于孤立小裂纹，支承辊下机后需要仔细观察辊身状态，对疑似区域可预先在轧辊端面予以标记，在磨辊过程中适当控制涡流检测的灵敏度，避免漏检，磨削完毕后，对前面标记的区域以及涡流检测中发现的可疑区域进行进一步的表面探伤检测，从而避免孤立小裂纹的残留。

对于聚集型裂纹，在探伤检测阶段必须在开裂区以外圆周方向进行较大范围的排查，务必采用直探头超声探伤，确认没有形成疲劳带裂纹，对于处理后留下的打磨坑，必须采用磁粉或着色探伤确认无裂纹残留，并在每次下机后重新修磨、检测。

对于已经形成疲劳带的裂纹，需检测裂纹的最深位置和扩展范围，如果裂纹还不足以导致支承辊报废，可考虑采用整体车削结合局部打磨去除裂纹影响。

(3) 预防措施。对条带状疲劳裂纹的预防，除了做好检测、每3~5次上机后深磨一次及打磨坑持续修磨检测等具体措施，更重要的是充分认识疲劳裂纹形成原因，并对支承辊裂纹的危害保持足够重视。在周期过钢量控制上避免过度追求高产出，而是根据车间设备状况和产品情况控制在合理范围。在磨辊过程中，充

数控龙门铣床悬挂按钮站水平移动机构故障分析与改进

■ 东方汽轮机有限公司 （四川德阳 618000） 张 强

摘要：本文阐述了数控龙门铣床悬挂按钮站水平移动机构的原理、存在的故障与原因分析，采取修复及改进措施，提高了移动机构的运行可靠性。

东方汽轮机有限公司某数控龙门铣床属大型关键数控设备，承担着汽轮机高压内缸水平中分及内腔开档的加工，生产任务十分繁重。近期频繁出现操作站水平移动机构打滑的故障（平均两个月一次），给操作者造成操作

困难，严重影响了生产进度。通过分析研究，采取及时有效的措施，从根本上排除了故障。

1. 悬挂按钮站移动机构原理

大型数控龙门铣床加工尺寸范围大，为方便操作人员对工件

找正、对刀和检查尺寸，悬挂按钮站需满足大尺寸范围内上下、左右移动功能，以适应操作人员在不同的位置操作。

悬挂按钮站通过走台支架安装在立柱前端，可以沿走台支架上的横梁导轨作左、右移动，通

分认识直接观察的局限性，重视并规范探伤检测，从而将表面疲劳损伤层、小裂纹始终控制在发展相对缓慢的早期阶段。

4. 结语

通过对支承辊裂纹与剥落案例、成因以及处理的分析可见，将支承辊表面裂纹始终控制在萌生阶段是对裂纹与剥落问题的最有效控制手段，这就需要对使用过程中支承辊下机检测与磨削制度进行规范。

步骤如下：①需要在每次支承辊下机磨削阶段重视探伤结果，轧辊磨削是否充分以探伤而非目视观察为标准。②充分认识

涡流探伤的局限性，必须综合涡流与其他探伤手段（磁粉、着色和表面波之一），才能对裂纹进行准确定性。③对于存在打磨坑的支承辊，在每次下机后，必需对原始打磨坑复检与修磨。④对于任何表面裂纹或聚集型裂纹，检测时需要重视周边较大范围的排查，特别是圆周方向的超声探伤结果，检测过程中还需要综合直探头、斜探头的检测结果，以避免条带状疲劳裂纹的形成。

除检测相关的维护工作外，也需要避免盲目追求生产效率，防止表面问题得不到及时处理而直接造成支承辊减径甚至报废的

后果。

参考文献：

- [1] 秦晓峰. 大型锻钢支承辊接触疲劳机理研究及修磨参数优化[M]. 东北大学博士论文, 2014.
- [2] Qiang Dong. Analysis of Spalling in Roughing Mill Backup Rolls of Wide and Thin Strip Hot Rolling Process[J]. Steel Research International, 2014 (86) : 129-136.
- [3] 赵凯兵. 2250mm热粗轧支承辊剥落的原因分析[J]. 大型铸锻件, 2017 (2) : 17-21.

MW（收稿日期：20170716）