

轨底划伤缺陷对高速钢轨疲劳寿命的影响研究

梁正伟, 李智丽, 张凤明, 靳燕

(内蒙古包钢钢联股份有限公司技术中心, 内蒙古 包头 014010)

摘要: 利用 MTS100T 实物疲劳试验机研究了高速钢轨轨底划伤缺陷对钢轨疲劳寿命的影响, 研究得出当轨底存在横向划伤缺陷时, 钢轨承受载荷的能力下降, 钢轨的疲劳寿命缩短。轨底划伤缺陷的深度对钢轨疲劳寿命影响明显, 长度为 75 mm 的轨底划伤缺陷, 深度为 0.3 mm 时疲劳寿命平均降低 27.2%, 深度为 0.5 mm 时疲劳寿命平均降低 31.4%。

关键词: 高速钢轨; 划伤缺陷; 疲劳寿命

中图分类号: U213.4⁺²

文献标识码: B

文章编号: 1009-5438(2022)01-0001-05

Study on Effects of Scratch Defect at Rail Bottom on Fatigue Life of High Speed Rail

Liang Zheng-wei, Li Zhi-li, Zhang Feng-ming, Jin Yan

(Technical Center of Inner Mongolia Baotou Steel Union Co., Ltd., Baotou 014010, Inner Mongolia Autonomous Region, China)

Abstract: The effects of the scratch defect at rail bottom on fatigue life of rail are studied by MTS100T fatigue testing machine. The results showed that the ability of bearing load for rail was declined and its fatigue life was shortened with the transverse scratch defect at rail bottom. The depth of scratch defect at rail bottom obviously influences the fatigue life of rail. With the scratch defect at rail bottom of 75 mm long, if its depth is 0.3 mm, the fatigue life decreases by 27.2% on average, while if its depth is 0.5 mm, the fatigue life decreases by 31.4% on average.

Key words: high speed rail; scratch defect; fatigue life

钢轨是铁路轨道的重要部件,随着列车速度的提高和重载列车的开行,对轨道的破坏不断加剧,从而影响行车安全。钢轨轨底截面形状结构不规则,受力不均匀,高速、重载列车对钢轨轨底的动力作用产生的疲劳损伤使钢轨从轨底发生开裂、折断等现象,严重影响行车安全^[1]。轨底常见的缺陷有锈坑、轨底划痕和轨底轧制缺陷等^[2],钢轨服役过程中在轨底缺陷部位容易产生应力集中,可造成轨底

横向裂纹扩展引发钢轨断裂^[3-4]。由于钢轨在运输装卸及线路施工等过程中因操作不当会产生轨底横向划伤,给钢轨服役带来安全隐患,为此本文开展了轨底划伤缺陷对高速钢轨疲劳寿命影响的试验研究。

1 试验方案

试验选取热轧态 60 kg/m U71MnG 高速钢轨,

实验室模仿实际的轨底横向划伤,见图 1,设计了不同位置和不同深度的缺陷,用机加工钻头在钢轨的轨底预制横向划伤缺陷,并在 MTS100T 实物疲劳试验机上开展钢轨的实物疲劳试验。本试验取两组疲劳试验钢轨,每组在同一支钢轨上连续取 4 支试样。参照 TB/T 1354—79《钢轨实物弯曲疲劳试验方

法》^[5],钢轨实物疲劳试样的长度为 1.2 m,试验跨距为 1 m,采用三点弯曲。参考高速钢轨使用时的最大轴重范围 15 ~ 20 t,确定初始加载载荷为 200 kN,采用应力对称循环系数(R)为 -0.2 以及压-回弹方式开展动态疲劳试验,疲劳试验条件接近钢轨实际使用工况。

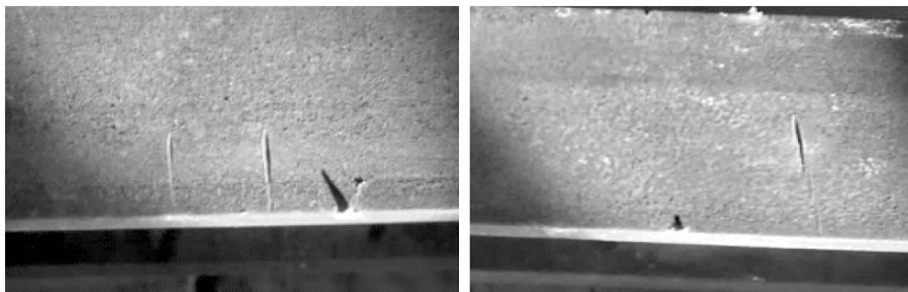


图 1 钢轨轨底横向划伤缺陷的实物形貌

2 试验研究

2.1 预制划伤缺陷

根据线路实际轨底划伤情况,实验室在轨底预制了横向划伤缺陷,缺陷预制的位置位于钢轨试样纵向长度的 1/2 处,在该部位的轨底面上分别在宽度方向的中心部位及一侧预制横向划伤缺陷,缺陷长度为 75 mm,深度分别为 0.3 mm、0.5 mm,轨底预制横向划伤缺陷具体见表 1。采用机加工设备用钻头在钢轨轨底面预制划伤缺陷,如图 2 所示。

表 1 轨底预制横向划伤缺陷

分组	编号	位置	长度/mm	深度/mm
1 组	11 [#]	一侧	75	0.3
	21 [#]	中心	75	0.5
	31 [#]	一侧	75	0.5
2 组	12 [#]	一侧	75	0.3
	22 [#]	中心	75	0.5
	32 [#]	一侧	75	0.5

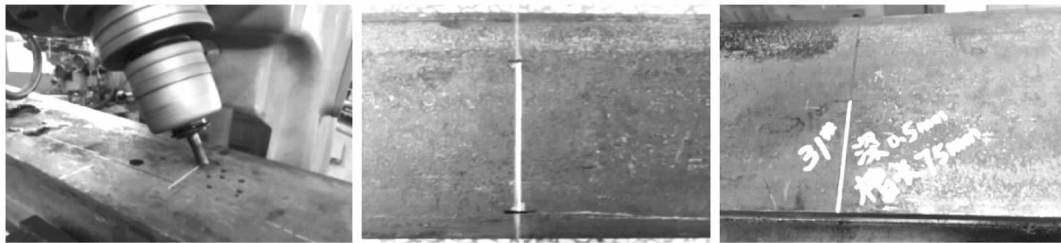


图 2 预制钢轨轨底面的划伤缺陷

2.2 试验结果及分析

2.2.1 试验结果

第一组 4 支试样疲劳试验加载条件相同,轨底预制的横向划伤情况不同,11[#]试样在轨底一侧,长

度 75 mm,深度 0.3 mm;21[#]试样在轨底中心,长度 75 mm,深度 0.5 mm;31[#]试样在轨底一侧,长度 75 mm,深度 0.5 mm;41[#]试样为对比试样未预制缺陷,疲劳试验结果见图 3。

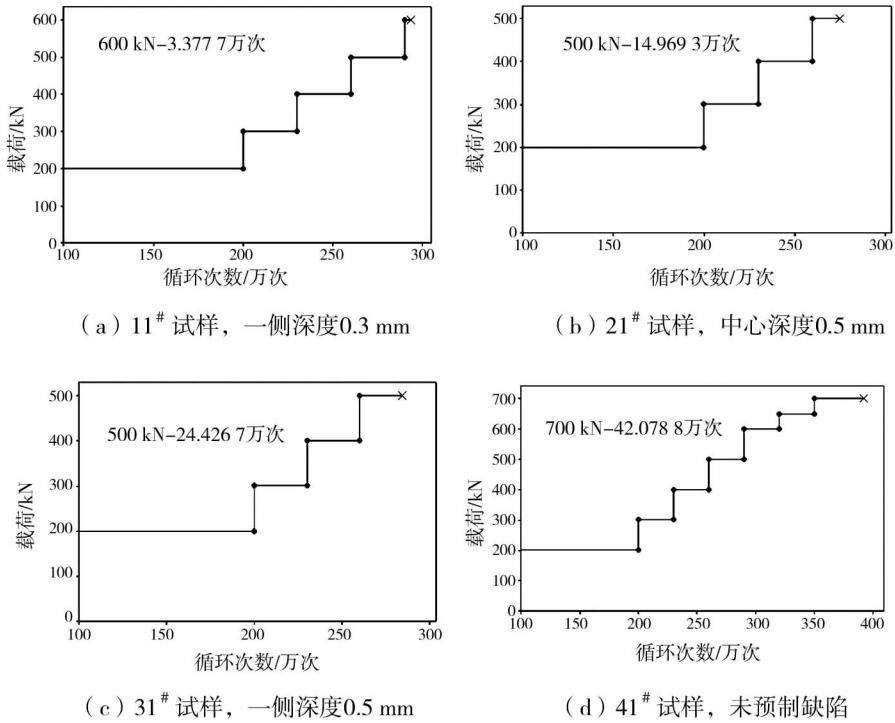


图 3 第一组 4 支钢轨试样疲劳试验结果

如图 3 所示,第一组试验钢轨采用 R 为 -0.2 压-回弹模式进行疲劳试验,在初始载荷为 200 kN 试验条件下都通过了 200 万次,之后采用加速试验方式,每提高 100 kN 载荷循环加载 30 万次通过后,继续增加 100 kN 载荷直至试样疲劳断裂。如图 3(a)所示,11[#]试样钢轨增加载荷至 600 kN 时循环 3.377 7 万次,从轨底预制的划伤部位起断,总疲劳次数为 293.38 万次;如图 3(b)所示,21[#]试样钢轨加载至 500 kN 时循环 14.969 3 万次,从轨底预制的划伤部位起断,总疲劳次数为 274.96 万次;如图 3(c)所示,31[#]试样钢轨加载至 500 kN 时循环 24.426 7 万次,从轨底预制的划伤部位起断,总疲劳次数为 284.43 万次;如图 3(d)所示,41[#]试样钢轨加载至 700 kN 时循环了 42.078 万次从轨底部位断裂,总疲劳次数 392.078 万次。

第二组 4 支钢轨试样的疲劳试验加载条件与第一组相同,轨底预制的横向划伤情况也与第一组完全相同(见表 1),疲劳试验结果见图 4。

如图 4 所示,12[#]试样钢轨同样是加载至 600 kN 时从轨底预制的划伤部位起断,其循环次数为 4.217 6 万次,总疲劳次数为 294.22 万次;22[#]试样钢轨加载至 500 kN 循环了 13.292 0 万次时从轨底

预制的划伤部位起断,总疲劳次数为 273.29 万次;32[#]试样钢轨加载至 500 kN 循环了 13.470 2 万次时从轨底预制的划伤部位起断,总疲劳次数为 273.47 万次;42[#]试样钢轨加载至 700 kN 试验至 64 万次时因设备故障停机,钢轨未断,总疲劳次数 414.362 0 万次。

2.2.2 结果分析

第一组和第二组钢轨的疲劳试验结果规律相同,疲劳试验结果的一致性较好,具体疲劳试验结果对比见图 5。在相同的试验参数和试验工艺条件下,当钢轨预制缺陷深度为 0.3 mm 时,与未预制缺陷钢轨对比,总循环次数分别缩短了 25.3% 和 29.0%,平均缩短 27.2%;钢轨预制缺陷深度为 0.5 mm 时,与未预制缺陷钢轨对比,总循环次数分别缩短了 28.7% 和 34.0%,平均缩短 31.4%。表明当轨底存在横向划伤缺陷时,钢轨的疲劳寿命缩短。如图 3、图 4 所示试验钢轨缺陷深度为 0.3 mm 时是在载荷 600 kN 出现断裂,而缺陷深度为 0.5 mm 时则提前到了 500 kN 载荷就出现断裂,钢轨表现出承受载荷的能力下降,即随轨底缺陷深度的增大,钢轨的疲劳断裂加快。钢轨疲劳不仅反映在循环次数缩短,同时反映在钢轨能够承受的疲劳载荷降低。

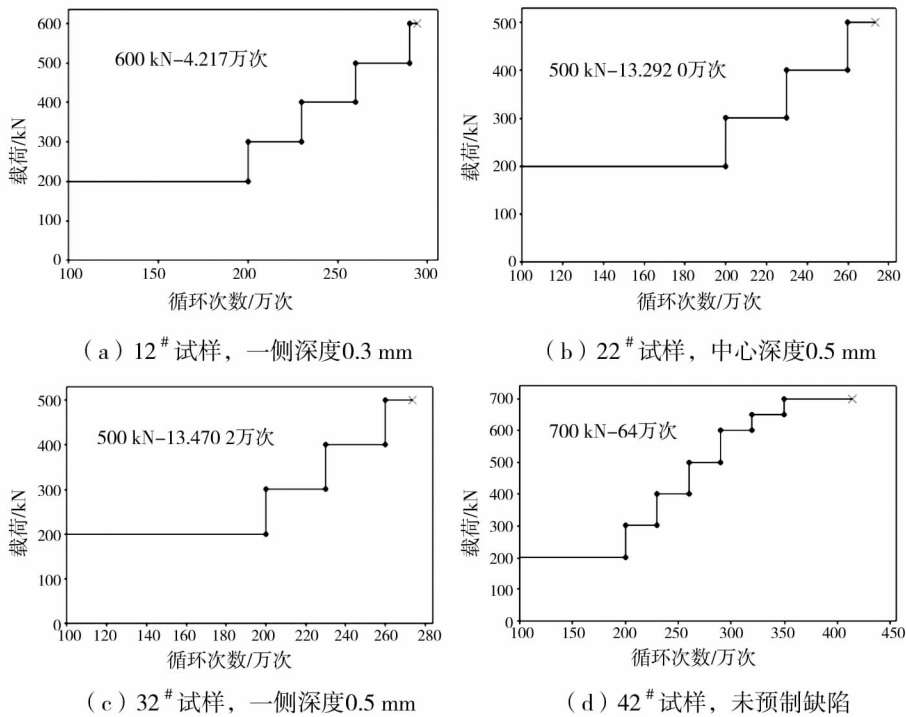


图4 第二组4支试样疲劳试验结果

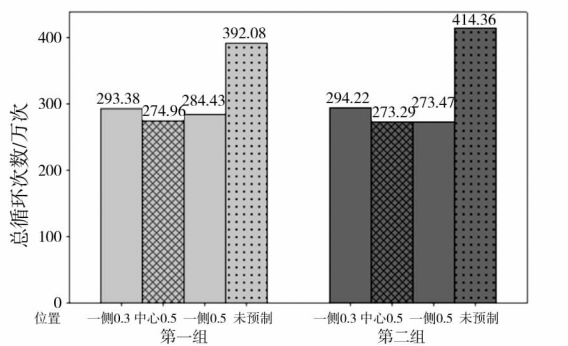


图5 不同试验条件下钢轨的疲劳循环次数

2.3 疲劳断口分析

对钢轨疲劳试验的断口形貌进行对比观察,见图6。钢轨试样在循环加载载荷的作用下,在轨底预制的横向划伤缺陷部位产生了应力集中,随着加载周期的延长以及载荷的增大,在应力集中部位产生疲劳,形成疲劳核,疲劳核长大到一定尺寸,开始迅速失稳扩展,最终钢轨发生断裂。

利用扫描电镜对钢轨的疲劳断裂断口进行微观分析。图7为钢轨轨底产生的疲劳核以及扩展区的形貌。疲劳核起始于轨底划伤部位,可见典型的疲劳辉纹,其上分布有二次微裂纹,扩展区为典型的荷叶状解理形貌。

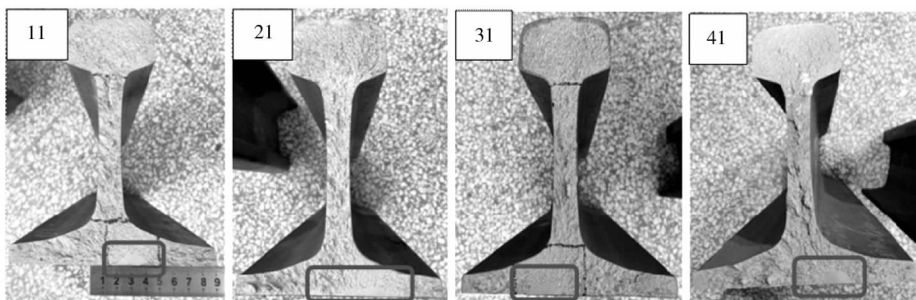


图6 钢轨的疲劳试验断口形貌(第一组)

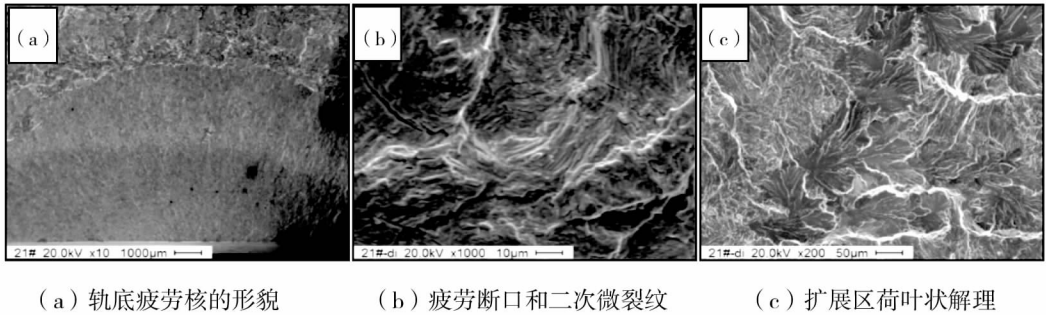


图7 21#试样的疲劳断口形貌

3 结论

(1) 当轨底存在横向划伤缺陷时, 钢轨的疲劳寿命缩短, 缺陷深度为 0.3 mm 时钢轨的疲劳寿命平均缩短 27.2%; 缺陷深度为 0.5 mm 时钢轨的疲劳寿命平均缩短 31.4%。

(2) 随轨底缺陷深度的增大, 钢轨疲劳断裂加快, 钢轨疲劳不仅反映在循环次数缩短, 同时反映在钢轨能够承受的疲劳载荷降低。

参 考 文 献

[1] 吴彦杰. 钢轨疲劳裂纹扩展特性研究[D]. 石

家庄: 石家庄铁道大学, 2016.

- [2] 许庆太. 50 kg/m 钢轨轨底缺陷的检验和分析[J]. 鞍钢技术, 1997, (4): 37-42.
- [3] 杜健. 60 kg/m 钢轨轨底线纹缺陷原因分析及解决措施[J]. 鞍钢技术, 2020, (4): 55-58, 64.
- [4] 李杨. 残余应力对钢轨疲劳裂纹萌生与扩展的影响机理研究[D]. 石家庄: 石家庄铁道大学, 2017.
- [5] TB/T 1354—79, 钢轨实物弯曲疲劳试验方法[S].