

白点、发纹对纯弯曲疲劳寿命的影响

牛俊民

一、问题的提出

冶金车辆中的轴类（象渣罐车车轴，翻斗车车轴等），是车辆的重要零件，在技术条件中都规定要做磁粉探伤，以防止由于表面缺陷而引起轴类的早期疲劳断裂，造成恶性事故。过去，由于缺少探伤验收标准，许多厂矿在检查冶金车辆轴类零件时，采用铁道部标准。后来考虑到冶金车辆行驶速度低、疲劳次数少等客观情况，我们觉得沿用铁道部车轴标准中有关规定不完全合理。鉴于以上情况，我们着手制定适合冶金车辆轴类的探伤标准。为此，我们调查了车轴断裂、失效的原因，并作了带有白点、发纹疲劳试棒的弯曲疲劳试验，其目的

在于比较各种缺陷对疲劳寿命的影响，分析它们的断裂位置及断口形态，以便在制定标准时对各种缺陷作出合理的规定。

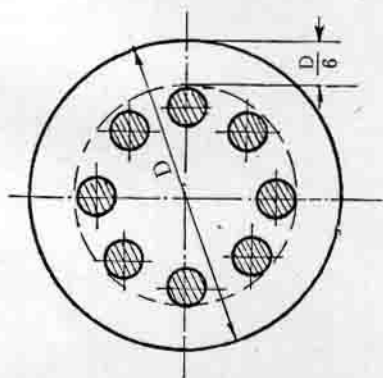


图 1 白点试棒的取样位置示意图

白点的车轴上截取 $\phi 230 \times 250\text{mm}$ 的一段，根据白点的分布规律，在离表面1/6直径以内取样（见图1），得到第一组试棒。第二组与第三组在一段带有发纹的车轴上截取，加工后进行磁粉探伤挑选，分为无发纹的试棒与有发纹的试棒两组。

二、试验方案的设计

1. 取样

试棒分三组，第一组带有白点的试棒；第二组无探伤缺陷的试样；第三组带有发纹的试棒。为使试样与实际工作状态相似，决定在车轴上取纵向试棒。我们在有

2. 试棒类型及加工情况

试棒尺寸及加工技术要求见图2。为使试验结果可靠，对表面磨痕进行了消除，对过渡R进行了精磨。

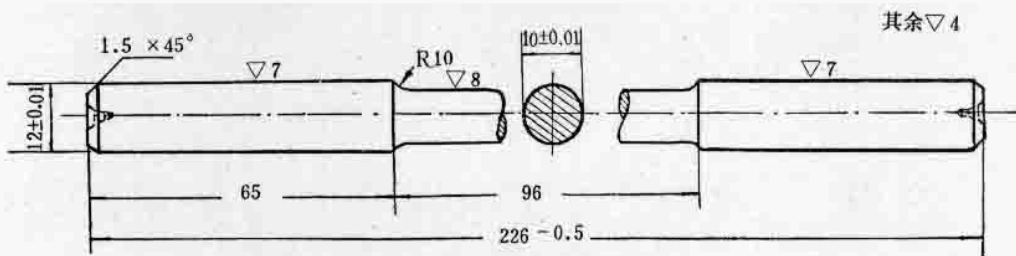
3. 疲劳试验类型

根据车轴受力条件，我们选用了纯弯曲对称循环，即 σ_{-1} 。试棒的受力情况见图3；应力与时间关系曲线见图4。

试验在PWC-6型纯弯曲疲劳试验机上进行。

4. 施加应力方案

将1[#]、2[#]、3[#]试棒在各种不同应力下进行疲劳试验，以便观察它们的循环次数及断裂情况。



- 技术要求: 1. $\phi 10$ 对 $\phi 12$ 的径向跳动量不得大于0.01毫米。
2. 试样表面不得有裂纹、擦伤等缺陷。
3. 过渡部分圆弧必须十分圆滑。

图 2 试验用疲劳试棒的尺寸及技术要求

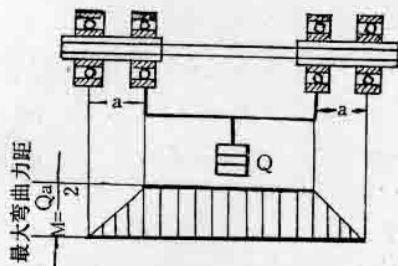


图 3 弯曲力矩图

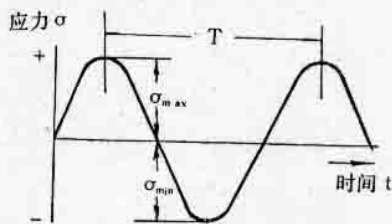


图 4 应力与时间关系曲线图

三、试验数据

1. 试验用材料的化学成分

表 1

试 样	成 分 %	碳	锰	硅	磷	硫
1#		0.44	0.61	0.31	0.018	0.008
2# 3#		0.43	0.67	0.26	0.031	0.302

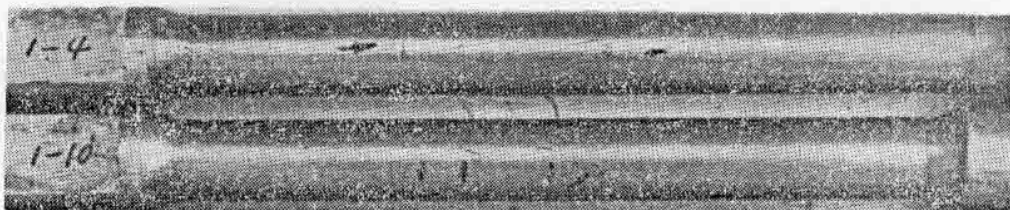
2. 试棒的表面缺陷（表面磁粉探伤后）记录见表2。

表 2

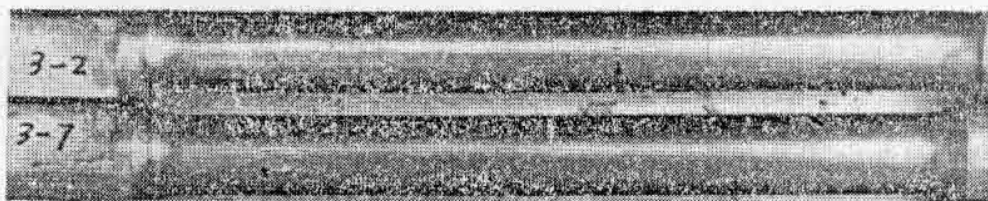
缺陷性质	试样编号	缺 陷 情 况
白 点	1#-4	纵向白点裂纹3m/m①条, 2m/m②条; 与轴线成45°角3m/m③条; 横向3m/m③条。
白 点	1#-2	白点裂纹纵向3m/m②条, 5m/m①条; 与轴线成45°角5m/m①条, 横向3m/m②条。
白 点	1#-9	白点裂纹纵向3m/m⑧条; 与轴线成45°角3m/m①条。
白 点	1#-10	白点裂纹纵向3m/m⑤条, 与轴线成45°角3m/m①条; 横向3m/m③条。
白 点	1#-7	白点裂纹纵向3m/m④条, 5m/m①条; 与轴线成45°角3m/m①条; 横向3m/m①条。
白 点	1#-8	白点裂纹纵向3m/m③条; 5m/m①条; 横向3m/m②条。
发 纹	3#-3	发纹纵向2m/m①条, 3m/m①条; 2m/m细发纹③条。
发 纹	3#-1	发纹纵向2m/m①条, 3m/m①条;
发 纹	3#-2	发纹纵向4m/m①条, 2m/m①条。
发 纹	3#-10	发纹纵向2m/m②条。
发 纹	3#-7	纵向发纹2m/m①条。
发 纹	3#-11	与轴线成45°角3m/m发纹①条。
无探伤缺陷试棒	2#-5、2#-9、2#-6、2#-8、2#-12、2#-13	

照片 1 是带有白点的试棒实照。

照片 2 是带有发纹的试棒实照（箭头所指是白点和发纹）。



照片 1

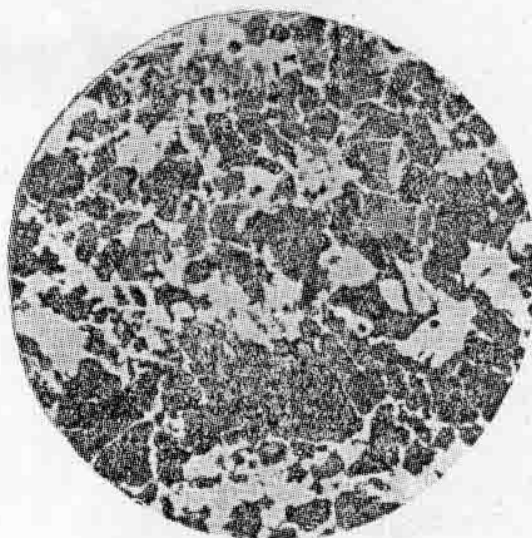


照片 2

3. 试验用钢的金相组织

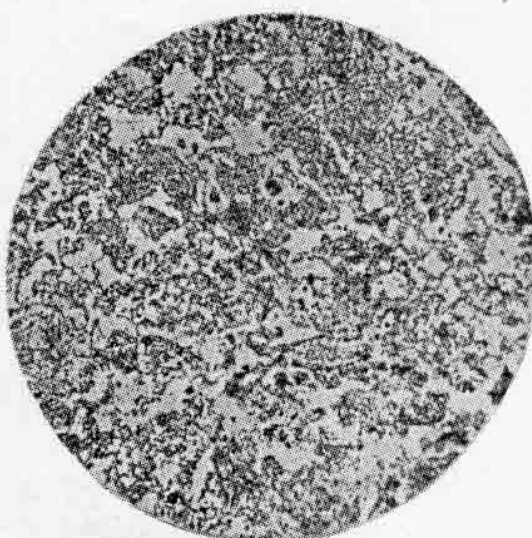
1[#]试棒的金相组织为片状珠光体+铁素体（有带状趋势）；夹杂物3~4级，细小；晶粒度5级，见图片3。

2[#]、3[#]试棒的金相组织为球粒状珠光体+铁素体；夹杂物3~4级，细小；晶粒度4级，见照片4。



照片 3

200 ×



照片 4

200 ×

4. 疲劳寿命

表 3

施加应力 (公斤/毫米 ²)	缺陷性质	试样号	循环次数	断裂情况
19.2	白点	1 [#] -4 1 [#] -2	4252 × 10 ² 5028 × 10 ²	断于白点 断于白点
	发纹	3 [#] -2 3 [#] -3	$>10^7$ $>10^7$	试样未断 试样未断
	无缺陷	2 [#] -5 2 [#] -9	$>10^7$ $>10^7$	试样未断 试样未断
21.6	白点	1 [#] -7 1 [#] -8	1979 × 10 ² 1177 × 10 ²	断于白点 断于白点
	发纹	3 [#] -7 3 [#] -11	24466 × 10 ² 17484 × 10 ²	断在发纹上 未断发纹上
	无缺陷	2 [#] -12 2 [#] -13	$>10^7$ 18264 × 10 ²	试样未断 断在R处
24.0	白点	1 [#] -9 1 [#] -10	902 × 10 ² 1391 × 10 ²	断于白点 断于白点
	发纹	3 [#] -1 3 [#] -10	5383 × 10 ² 8673 × 10 ²	断在R处 未断发纹上
	无缺陷	2 [#] -6 2 [#] -8	9850 × 10 ² 6037 × 10 ²	

将在19.2公斤/毫米²应力下循环10⁷未断, 带有发纹的试棒3[#]-2及3[#]-3在较大应力下继续试验, 观察其疲劳循环次数及断裂情况。试验数据见表4。

表 4

施加应力	缺陷性质	试样号	循环次数	断裂情况
24.0	发纹	3 [#] -2	8272 × 10 ²	断在发纹附近
	发纹	3 [#] -3	8888 × 10 ²	断在发纹附近

5. 疲劳断口分析

疲劳试棒的断口分为三个部分: 疲劳源, 疲劳区, 最后突断区。1[#]试棒的疲劳源都是起源于白点(照片5)。2[#]无表面缺陷的试棒, 其疲劳断口见照片6。它们中比较多的是疲劳区出现在两边, 突断区在中间。3[#]试棒在6根试棒中有一根断在发纹上, 有两根断在发纹附近, 两根未断发纹上, 一根断于R处。它们的断口见照片7。



照片 5

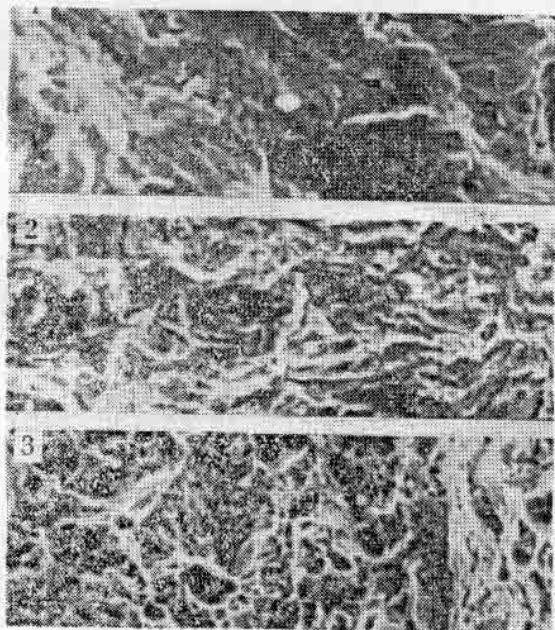


照片 6



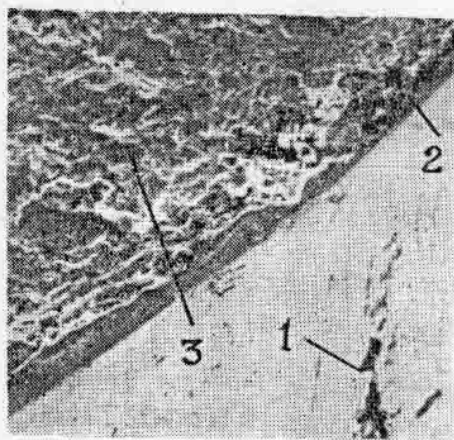
照片 7

在扫描电子显微镜下观察疲劳断口，1[#]试样疲劳裂痕起源于白点裂纹的边缘，白点区为准解理断口；疲劳区是疲劳条纹，带有二次裂纹；最后突断区为韧窝，属韧性断裂（照片8）。断于发纹的试棒其疲劳裂痕起源于表面发纹，见照片9。这是一张160×扫描电镜照片，因扫描电子显微镜景深大，所以位于试棒外圆上的夹杂物发纹（照片9上的“1”处）也能显示出来，改变焦距时，可以看到发纹一直延续到“2”处。



160×

- 1—发纹（纵向、位于圆周上）
- 2—发纹末端疲劳源
- 3—放射状裂痕及疲劳发纹



640×

- 上1—疲劳源白点区，准解理断口
- 中2—疲劳区，疲劳条纹
- 下3—最后突断口，韧性断口，韧窝

照片 8

四、几点看法

1. 白点对车轴钢纯弯曲疲劳寿命影响极大。以破断的循环次数来看，无白点与有白点之比，可从几倍到几十倍，甚至更多。同时，随着施加应力的减小，倍数有明显增加的趋势。这说明在小应力下（一般使用应力都较试验应力为小），白点对循环次数的影响更大。从断裂情况及断口分析来看，有白点的试棒100%断于白点处，疲劳起源于白点裂纹的边缘。所以，在一般技术标准中都规定，有白点的制件都不能使用。

2. 从试验结果来看，分散的2~5mm长度的发纹对车轴的弯曲疲劳寿命影响不明显，有些试棒断裂位置不在发纹上（3#-10、3#-11）。但是，发纹是工件表面的薄弱环节，在疲劳断裂中往往先形成疲劳源，容易引起疲劳断裂。从3#-7的断口扫描电镜分析看，疲劳起源于发纹根部。

3. 从表4与表3对比来看，经过 10^7 小应力循环未断的试棒，在同样大应力下（24公斤/毫米²）与3#-1、3#-10相比较循环次数并没有减少，而是有增加趋势。这说明试棒在小应力运转时，表面受力强化提高了材料的疲劳寿命。

4. 从试验中发现，试棒表面的加工刀痕，很容易引起试样的早期疲劳断裂。因此，在制定标准时，除对各种探伤缺陷作严格规定外，还要对表面光洁度及加工刀痕，过渡部分的台阶或R等也需作出相应规定。

5. 通过今年的试验与去年的试验（去年试验为45#钢，正火，晶粒度7级，施加应力24公斤/毫米²， 10^7 未断）的比较发现材料的晶粒度对疲劳寿命影响很大。6级以上的细晶粒可以明显提高疲劳寿命。目前国外和国内有关单位都规定，火车车轴要做超声波探伤检查，用直探头纵向入射，除检查轴内有无缺陷外，还测定其衰减度，用底波反射次数来判定车轴质量的好坏，这实际上控制了车轴的晶粒度，以保证车轴的使用寿命。



访问我们的官方网站了解更多内容

扫描二维码关注