

多冲端面剥落与塌陷增量的关系^①

杨紫霞

(湘潭大学机械系, 湘潭 411105)

摘 要 借助于 DC-150 多冲试验机, 研究了多冲端面剥落与塌陷增量的关系。结果表明, 多冲端面剥落起始于塌陷增量持续衰减期, 并随塌陷增量衰减而增生, 塌陷终止时, 发生再次剥落; 裂纹萌生、扩展规律与接触疲劳相同。

关键词 多冲试验 塌陷增量 持续衰减期 再次剥落

据作者对 YTP-26 型凿岩机活塞失效的统计, 端面崩裂约占 9%, 活塞与缸体及转动套的配合面磨损约占 11%, 活塞截面尺寸突变处的疲劳断裂约占 23%, 端面剥落失效约占 57%, 而端面剥落与塌陷变化有关。为了探讨端面剥落与端面塌陷变化的关系, 作者借助 DC-150 多冲试验机, 研究了塌陷增量的流变-硬化特征及对端面剥落寿命的影响。

1 试验方法

1.1 试样制备

将凿岩机活塞用材 (20CrMnMo 钢) 加工成 $d 12 \text{ mm} \times 30 \text{ mm}$ 试样, 硬化处理后, 表面硬度为 HRC57~62, 心部硬度为 HRC38~46。

1.2 主要设备及试验参数

DC-150 多冲试验机: 能量参数选用 0.98、4.90、9.80、14.70 J 4 级, 频率参数选用 450、600 次/min 2 级; 冲头采用 YG8 硬质合金, 冲头端面 $d 7 \text{ mm}$ 。

1.3 形变及剥落检测

端面冲痕经轻微抛光, 再经酒精、丙酮清洗后, 用 PCT-1000 型机械比较仪测定深度 (端面变形和剥落深度)。

冲痕深度以试样平面转动 0、90、180、

270° 四个位向的实测深度的平均值计。

冲痕显现后, 测定不同冲击周次下的深度增量 (塌陷增量) h (以 5 个试样的深度增量平均值计), 并以此作 $h-N$ 曲线。

用线切割制备冲痕纵剖面并着色。

2 结果及分析

2.1 多冲端面塌陷的规律及流变-硬化特征

在 0.98 J 冲击能量、450 次/min 冲击频率下的试验表明, 端面冲痕显现后, 塌陷增量 h 随冲击周次 N 的变化有最大值关系。在最大值出现前的冲击周次范围, h 随 N 增多而急剧增大, 为塌陷增量增强期; 在最大值出现后, 随 N 增多, h 减小而相继进入初期衰减期和持续衰减期, 持续衰减期延续到端面塌陷终止, 如图 1。

试样塌陷区纵剖面的彩色金相观察及显微硬度测试表明, 在端面塌陷不同阶段, 其流变-硬化特征有异, h 增强期流变带 (黄色剪切带) 较平直, 从端面向内层呈一定角度分布, 流变带数量、尺寸随 N 增多而急剧增加, 如图 2 (a)。流变带硬度 Hm 469, 流变带两侧的基体 (枣红色) Hm 457, 可见硬度未发生显著变化; 在 h 衰减初期, 流变带数量、尺寸的增加速度

^① 收稿日期: 1995-06-07; 修回日期: 1995-08-22

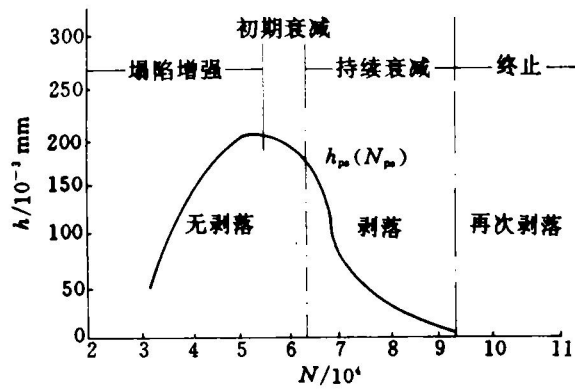


图1 塌陷增量与冲击周次的关系

减缓,但伴有硬度提高(Hm 542),且有分枝出现,如图2(b)。当 h 进入持续衰减期,流变带分枝剧增,且急剧硬化(Hm 713),如图2(c)。当 h 进入持续衰减末期,流变带中裂纹萌生,裂纹两侧基体逐渐变为绿色,其硬度值Hm 484,略高于基体硬度,这表明裂纹萌生松弛了附近应力场,如图2(d)。

上述形变特征表明,多冲载荷下塑性流变不均匀,而 h 的阶段性是端面塑性流变与形变

硬化的综合效应,在 h 增强期,控制端面塌陷的主要因素则是形变硬化。

2.2 端面剥落与塌陷增量的关系

试验表明,在 h 增强期及初始衰减期,均无剥落产生,仅当 h 进入持续衰减期时,剥落开始产生,并随持续衰减期发展,剥落相继发生(剥落增生);当 h 进入终止期时,在已剥落的坑中发生再次剥落,如图3。

端面剥落是裂纹萌生于次表层并扩展至表面的过程,剥落寿命受次表层及表层的塑性流变及硬化效应控制。据Lundberg-Palmgren理论,在距表面 $0.5b$ 处的次表面有最大正交切应力存在,这是接触疲劳的最危险应力^[1],疲劳裂纹首先萌生于此。在后续冲击下,硬化效果增强(h 衰减),裂纹沿平行于表面方向扩展一段距离后,可能产生垂直/倾斜于表面的分枝裂纹,当 h 达 h_{ps} (或相应的 N_{ps} 起始剥落寿命)时,分枝裂纹扩展至表面,剥落产生^[2]。在后续冲击时的 h 衰减过程中,新剥落产生(剥落增生),当 h 终止时表层塑性耗竭,形成宏观裂纹,但此时次表层及其内层支撑区塑性并

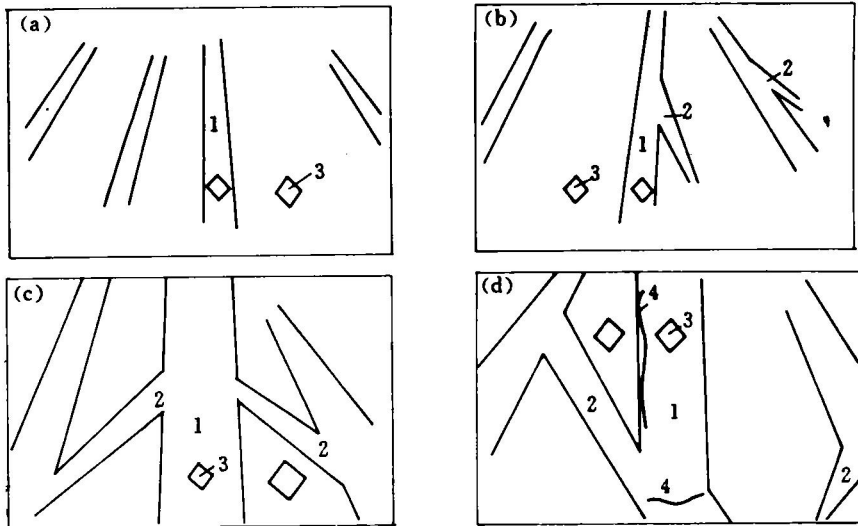


图2 端面塌陷区纵剖面流变-硬化彩色金相特征示意图(垂直方向冲击)

(a)— $N=3.8 \times 10^4$, $h=124 \times 10^{-3}$ mm, $\times 100$; (b)— $N=4.3 \times 10^4$, $h=172 \times 10^{-3}$ mm, $\times 100$;
(c)— $N=7.1 \times 10^4$, $h=75 \times 10^{-3}$ mm, $\times 200$; (d)— $N=9.1 \times 10^4$, $h=17 \times 10^{-3}$ mm, $\times 200$

1—主流变带; 2—分枝流变带; 3—显微硬度压痕; 4—形变带裂纹

未耗竭,然而当继续试验时,在已剥落位置的次表层,会再次萌生裂纹并扩展,最终导致再次剥落。图4为裂纹萌生于次表层并扩展至表面即将剥落的照片。可见多冲时端面剥落过程的裂纹萌生、扩展规律与静载接触疲劳相同。

多冲端面剥落是由冲击能量反复作用引起的损伤累积效应,其实质也是接触应力反复作用的裂纹萌生、扩展结果,相当于冲击疲劳的过负荷持久值范围的失效^[3]。只是冲击下的接触应力不同于静载接触应力,它以波的形式高速传布,并通过反射在承载体内产生叠加效应,形成极为复杂的应力状态,对裂纹萌生、扩展参数产生有别于静载接触应力的影响。此外,它的体积效应、缺口效应以及引起承载体组织性能变化等因素的影响,使承载体的多冲端面剥落寿命不同于静载接触疲劳寿命。

2.3 冲击能量和频率对剥落寿命的影响

试验显示,冲击能量和频率对端面剥落寿命有显著影响,如图5。

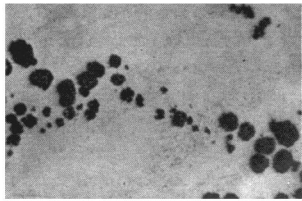


图3 再次剥落坑

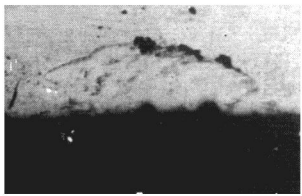


图4 多冲载荷下的表面剥落

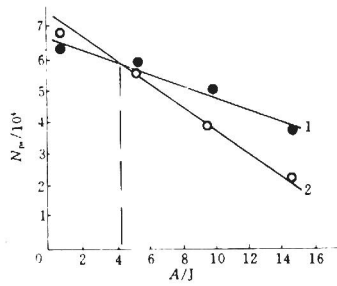


图5 冲击能量和频率对起始剥落寿命的影响

1 450次/min; 2—600次/min

根据疲劳失效分析,剥落寿命由裂纹萌生寿命和扩展寿命组成,受裂纹孕育期(萌生周次)、裂纹在次表层、表面层的扩展速率控制。

疲劳裂纹的萌生与位于次表层的最大正交切应力水平有关。低能冲击的最大正交切应力水平低,裂纹较难萌生。提高冲击频率,将减薄变形层,次表层变形小,累积损伤小,对裂纹扩展寿命影响不大,同时,表面变形层的减薄,使裂纹萌生、扩展的次表层体积分数增大,延长了裂纹在次表层的扩展路径,这可能是低能冲击时出现较高起始剥落寿命的原因;高能冲击时,最大正交切应力水平高,端面并非总是经受更大的硬化,将引起软化效应和更快的损伤累积^[4]。提高冲击频率将加剧次表层的软化效应和损伤累积,降低起始剥落周次。

参考文献

- 1 Failure Analysis and Prevention. In: Metals Handbook (8th Ed), vol. 10. American Society for Metals, 1975: 623.
- 2 黄明志. 金属力学性能. 西安: 西安交通大学出版社, 1986: 221.
- 3 周惠久等. 机械工程学报, 1962, 10(1).
- 4 戈康达S著, 颜鸣皋、刘才穆译. 金属的疲劳与断裂. 上海: 上海科技出版社, 1983: 172.

(编辑 彭超群)