

MB8 镁合金高周疲劳实验研究

Experimental Investigation on High Cycle Fatigue Behaviors of MB8 Magnesium Alloy

杨 友^{1,2}

(1 长春工业大学 材料科学与工程学院, 长春 130012; 2 长春工业大学
先进结构材料省部共建教育部重点实验室, 长春 130012)

YANG You^{1,2}

(1 School of Materials Science and Engineering, Changchun University of Technology, Changchun 130012, China; 2 Key Laboratory of Advanced Structural Materials, Ministry of Education, Changchun University of Technology, Changchun 130012, China)

摘要: 采用升降法对 MB8 镁合金室温高周疲劳行为进行实验研究。结果表明: 利用升降法计算出 MB8 镁合金在应力比 $R=0.1$, 循环基数为 10^7 条件下的疲劳强度为 90.2 MPa, 相当于其抗拉强度的 34% 左右; 合金的疲劳裂纹萌生于试样表面, 裂纹扩展区由小的平面状断面组成, 没有明显的疲劳辉纹存在, 合金疲劳断口呈现韧性断裂特征。

关键词: MB8 镁合金; 高周疲劳; 升降法; 疲劳强度

中图分类号: TG146.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-4381(2010)12-0044-03

Abstract: The high cycle fatigue behavior of MB8 magnesium alloy at room temperature was investigated by fatigue test using up and down method. The fatigue strength of MB8 magnesium alloy was 90.2 MPa under stress ratio $R=0.1$ and cycles $N=10^7$ conditions. The fatigue strength was about 34% of its tensile strength. The fatigue cracks initiated at surface of the samples. The fatigue crack propagation regions of MB8 alloy were composed of some facets, and without obvious fatigue striations. The fatigue fracture surface of specimens revealed the fracture characteristics of dimple.

Key words: MB8 magnesium alloy; high cycle fatigue; up and down method; fatigue strength

镁合金质量轻、比强度高、减震性好, 是理想的环保、节能材料, 近年来在汽车、航空、电子等领域得到了广泛应用^[1-3]。目前工业上应用的镁合金大部分是铸造镁合金, 而变形镁合金经过挤压、轧制和锻造等工艺后具有比相同成分的铸造镁合金更高的力学性能。用变形镁合金制成的薄板、棒材、管材和型材具有更低成本、更高强度和延展性以及多样化的力学性能优点, 因此具有更加广阔的应用前景^[4,5]。变形镁合金作为一种航空用结构材料, 疲劳失效亦是其主要破坏形式之一。由于材料成分、制备和成型工艺对镁合金材料的力学性能综合影响很大, 加之密排六方基底的镁合金材料变形机制比较复杂, 因此, 目前虽然存在一些关于镁合金疲劳试验的文献, 但由于疲劳试验的复杂性, 其中大多是有关高应力应变控制下低周疲劳寿命的研究, 对低应力控制下高周疲劳寿命的研究则不多^[6-8]。因此, 本工作着重研究 MB8 镁合金在应力比 $R=0.1$, 循环基数为 10^7 条件下的高周疲劳性能, 为进一步扩大 MB8 镁

合金在航空上的应用提供依据。

1 实验材料和实验方法

实验材料为 MB8 镁合金, 化学成分(质量分数/%) : 1.3~2.2 Mn, 0.3 Zn, 0.2 Al, 0.1~0.35 Ce, 0.05 Cu, 0.07 Ni, 余量为 Mg。拉伸试验采用单肩圆柱形拉伸试样, 试样尺寸如图 1 所示。

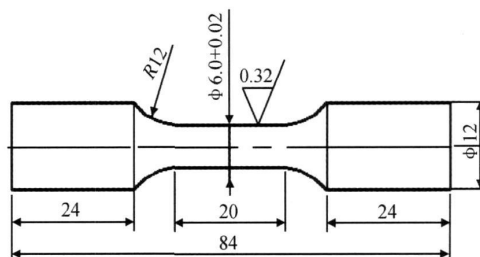


图 1 拉伸试样尺寸

Fig. 1 The geometry and dimension of tensile specimens

拉伸试验在 MTS 810 电液伺服试验机上进行, 拉伸速度为 0.5mm/min, 采用 5 根试样进行拉伸试验, 材料的拉伸性能取 5 根试样的平均值。MB8 镁合金室温拉伸性能: $\sigma_b = 262\text{MPa}$, $\sigma_{b.2} = 168\text{MPa}$, $\delta = 25.6\%$ 。

将 MB8 板材加工成标距长度为 20mm, 标距直径为 6mm, 总长度为 90mm 的轴向光滑高频疲劳试样。实验前沿试样的轴向用粒度为 1200 的 SiC 砂纸细磨, 以排除试样表面加工缺陷的干扰。试样尺寸如图 2 所示。实验在 PLG-20C 高频疲劳试验机上进行, 采用轴向拉-拉加载方式控制载荷, 总应力比 $R = 0.1$, 加载波形为正弦波, 频率为 90Hz。在室温静态空气介质环境中测定不同载荷条件下的疲劳寿命 N 。绘制合金的 $S-N$ 曲线, 采用升降法计算合金在循环基数为 10^7 时的疲劳强度; 采用 JSM-5600LV 型扫描电子显微镜对高周疲劳后的样品进行疲劳断口分析。

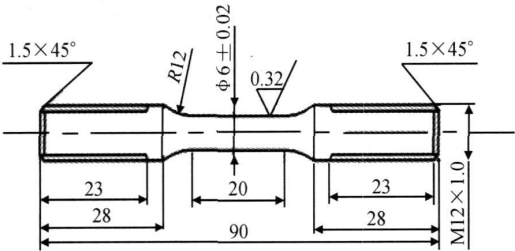


图 2 高周疲劳试样尺寸
Fig. 2 The geometry and dimensions of high cycle fatigue specimens

2 结果与分析

2.1 疲劳强度计算

采用升降法进行 MB8 镁合金疲劳强度的测试及计算^[9]。疲劳试验前根据拉伸性能测试结果估算出合金疲劳强度值, 然后根据疲劳强度确定出应力增量。根据文献[10], 对于镁合金材料, 估算疲劳强度值 $\sigma_r = 0.35\sigma_b$, 应力增量 $\Delta\sigma = 4.5\%\sigma_r$, 实验在 4~5 级应力水平下进行。根据升降法原理, MB8 镁合金的高周疲劳试验从高于估算疲劳强度的应力水平开始, 在应力水平 σ_0 下实验第一根试样, 该试样在达到指定寿命 $N = 10^7$ 次循环没有发生断裂(越出), 于是, 第二根试样就在高一级的应力水平 σ_1 下进行实验, 因该试样在应力水平 σ_1 下经 10^7 次循环发生破坏, 故依次实验第三根试样时就在低一级的应力水平 σ_0 下进行。按照这个规定, 凡前一根试样不到 10^7 次循环就破坏的, 则随后的一次实验就要在低一级的应力水平下进行; 凡前一根试样越出, 则随后的一次实验就要在高一级的应力

水平下进行, 直到完成全部实验为止。在整个实验过程中, 应力增量保持不变, 图 3 为 MB8 镁合金疲劳试验载荷升降示意图。

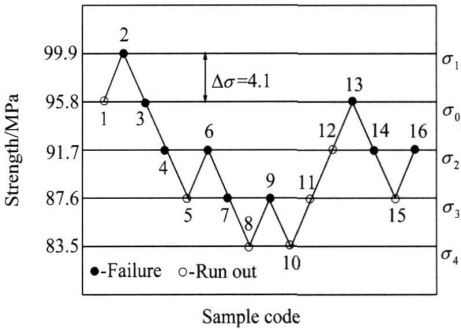


图 3 MB8 镁合金疲劳试验载荷升降图
Fig. 3 Sketch of fatigue load up and down for MB8 magnesium alloy

利用升降法计算疲劳强度时, 第一次出现相反结果的数据点 1 和 2 对应的应力平均值, 就是利用常规疲劳试验法得出的疲劳强度值。把所有邻近出现相反结果的数据点都配成对: 1 和 2, 4 和 5, 7 和 8, 9 和 10, 12 和 13, 14 和 15。最后, 对于不能直接配对的数据点 11 和 16, 也可以凑成一对。总计共有 7 对, 由这 7 对应力求得的 7 个疲劳强度取平均值, 即可作为 MB8 镁合金在 $R = 0.1$, 循环基数 $N = 10^7$ 下疲劳强度的精确值 $\sigma_{0.1}$ (见公式(1))。

$$\sigma_{0.1} = \frac{1}{7} \left[\frac{\sigma_0 + \sigma_1}{2} + \frac{\sigma_2 + \sigma_3}{2} + \frac{\sigma_3 + \sigma_4}{2} + \frac{\sigma_3 + \sigma_4}{2} + \frac{\sigma_3 + \sigma_4}{2} + \frac{\sigma_3 + \sigma_4}{2} + \frac{\sigma_3 + \sigma_4}{2} \right] = 90.2\text{MPa} = 34.4\%\sigma_b \quad (1)$$

2.2 S-N 曲线

图 4 为 MB8 镁合金室温高周疲劳后绘制的 $S-N$ 曲线。可以看出, MB8 镁合金的 $S-N$ 曲线和结构钢不同, 它没有水平段, 所有的试样都在中长寿命区 ($10^5 \sim 10^7$) 发生断裂或越出, 疲劳强度计算结果为 90.2MPa。

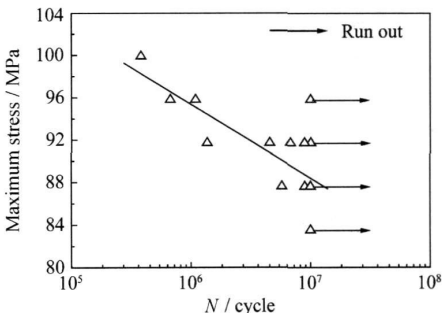


图 4 MB8 镁合金 $S-N$ 曲线
Fig. 4 $S-N$ curve of MB8 magnesium alloy

在室温下, MB8 镁合金的高周疲劳强度与抗拉强度的比值(疲劳比)约为 0.34, 较一般金属和合金中所观察到的疲劳比比值(0.4~0.5)^[10] 稍低。

2.3 疲劳断口分析

图 5 为 MB8 镁合金疲劳断口微观形貌。可以观察到, 其疲劳断口是典型的轴向载荷高周疲劳断口, 没有明显的塑性变形, 呈脆性断裂。MB8 镁合金的疲劳裂纹萌生于试样表面加工过程中产生的缺陷处。这些表面缺陷能对材料起到尖缺口的作用, 促使应力集中,

容易产生不均匀的局部滑移和显微开裂, 而加速疲劳裂纹的萌生。疲劳裂纹萌生后, 沿与最大正应力方向相垂直的方向向合金内部扩展, 当疲劳裂纹扩展到临界尺寸后, 试样断裂。从断口形貌上看, 疲劳源和扩展区是一个光滑、细洁的扇形区域, 疲劳源大致位于“扇”柄处的缺陷位置。断口上比较平坦并具有放射状条纹的区域是疲劳裂纹扩展区。由于本次实验是高周疲劳性能测试, 其工作应力不大, 疲劳裂纹扩展也就比较充分, 所以其疲劳裂纹扩展区比较大。

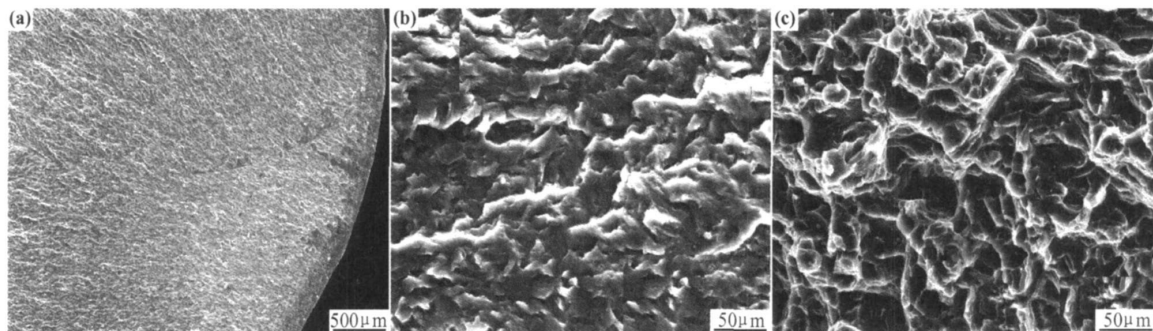


图 5 MB8 镁合金疲劳断裂表面形貌 (a) 裂纹萌生区; (b) 裂纹扩展区; (c) 失稳断裂区

Fig. 5 Fatigue fracture surface morphologies of MB8 magnesium alloy

(a) crack initiation region; (b) crack propagation region; (c) collapse fracture region

MB8 镁合金疲劳裂纹扩展区的微观形貌为平面状断面(见图 5(b))。在 MB8 镁合金中, 疲劳裂纹严格地沿晶粒内{0001}滑移面扩展, 因而形成了非常平坦光滑的断面, 当其与晶界相遇时, 位向会稍有改变。断面上没有发现明显的疲劳辉纹存在。MB8 镁合金失稳断裂区由大量的韧窝组成(见图 5(c)), 由于合金抵抗塑性变形能力较强, 其断口表现为韧性断裂特征。

3 结论

(1) 采用升降法疲劳试验获得了 MB8 镁合金在应力比 $R = 0.1$, 循环基数为 10^7 下的条件疲劳强度为 90.2 MPa, 约为其抗拉强度的 34%。

(2) MB8 镁合金疲劳裂纹萌生于试样表面, 裂纹扩展区由小的平面状断面组成, 合金疲劳断口呈现韧性断裂特征。

参考文献

- [1] 张丁非, 彭建. 镁及镁合金的资源、应用及其发展现状[J]. 材料导报, 2004, (4): 72-76.
- [2] 瞿郁涛, 王辉. 镁合金及其在工业中的应用[J]. 稀有金属, 2004, (1): 229-232.

- [3] MORDIKE B L, EBERT T. Magnesium: properties & applications potential[J]. Materials Science and Engineering A, 2001, (1): 37-45.
- [4] 陈振华. 变形镁合金[M]. 北京: 化学工业出版社, 2004.
- [5] 余昆, 黎文献, 王日初, 等. 变形镁合金的研究、开发及应用[J]. 中国有色金属学报, 2003, (4): 277-288.
- [6] LI F, WANG Y, CHEN L J, et al. Low-cycle fatigue behavior of two magnesium alloys[J]. Journal of Materials Science Letters, 2005, (40): 1529-1531.
- [7] OGAREVIC V V, STEPHENS R L. Fatigue of magnesium alloys[J]. Annual Review Materials Science, 1990, (20): 141-177.
- [8] MAYER H, LIPOWSKY H, PAPAKYRIACOU M, et al. Fatigue properties of high pressure die cast magnesium alloys at high numbers of cycles[A]. Process 7th International Fatigue Conference[C]. Beijing: Higher Education Press, 1999.
- [9] 徐灏. 疲劳强度[M]. 北京: 高等教育出版社, 1987.
- [10] 邓增杰, 周敬恩. 工程材料的断裂与疲劳[M]. 北京: 机械工业出版社, 1995.

基金项目: 吉林省科技厅应用基础研究资助项目(20090544)

收稿日期: 2009-10-18; 修订日期: 2010-07-14

作者简介: 杨友(1972—), 男, 博士, 教授, 主要从事汽车材料及金属材料表面改性研究. 联系地址: 长春工业大学材料科学与工程学院(130012), E-mail: yangyou_0825@163.com