

建筑铝合金塑性变形件中裂纹源位置 对力学性能和抗氧化性能的影响

徐强林¹, 吴小成¹, 张 玲²

(1. 中国科学技术大学附属第一医院, 安徽合肥 230001; 2. 南昌交通学院, 江西南昌 330011)

摘要: 为明确裂纹源位置对铝合金塑性变形件的影响机制, 制备不同裂纹源位置的铝合金塑性变形件试样, 进行试样的断口形貌、力学性能、高温抗氧化性能以及疲劳性能测试。试验结果表明, 铝合金塑性变形件的强度、韧性、断裂伸长率、抗氧化性能和疲劳寿命均受到裂纹源位置的显著影响。裂纹源远离应力集中区域的试样表现更优, 能够承受更大的塑性变形, 氧化层能够均匀形成且稳定, 疲劳破坏的风险低。相反, 裂纹源位于缺口中部或根部的试样, 由于应力集中和潜在损伤, 其各项性能指标均有所下降, 尤其是在缺口根部, 性能明显降低。因此, 在铝合金塑性变形件的设计、生产和使用过程中, 应高度重视裂纹源的控制, 确保塑性变形件的最佳性能。

关键词: 铝合金塑性变形件; 裂纹源位置; 力学性能; 疲劳性能; 断裂伸长率

作者简介:

徐强林(1988-), 男, 工程师, 研究方向为建筑工程管理。电话: 18656091680, E-mail: happy09001@163.com

happy09001@163.com

通讯作者:

吴小成, 男, 工程师。电话: 13866752005, E-mail: cheng2964118@163.com

中图分类号: TG146

文献标识码: A

文章编号: 1001-4977(2024)

12-1714-07

基金项目:

江西省教育厅科技项目 (GJJ181496)。

收稿日期:

2024-07-09 收到初稿,

2024-09-06 收到修订稿。

铝合金因其优异的力学性能、良好的耐腐蚀性和相对较轻的质量^[1-3], 成为了航空航天、汽车制造、电子设备以及建筑工业中不可或缺金属材料。然而, 铝合金塑性变形件在生产过程中常因铸造工艺参数控制不当、模具设计缺陷、材料内部缺陷等各种因素产生裂纹^[4-6], 这些裂纹不仅严重影响塑性变形件的力学性能和使用寿命, 还可能危及建筑的安全。裂纹的存在会打破系统模态与激振力之间的自然平衡, 导致原本独立的模态相互耦合, 共同参与复杂的振动过程, 不同裂纹位置会引发不同的振动响应模式。甚至在某些位置加剧系统的振动响应, 导致振幅增大和振动峰值增多等现象。由于裂纹可以在任何时刻和任何位置萌生并扩展, 增加了对塑性变形件性能监测和维护的难度。特别是当裂纹在结构的关键部位形成时, 其快速扩展可能导致塑性变形件迅速失效或破坏, 进而对建筑物的整体结构安全构成潜在风险^[7]。

国内外学者已经对铝合金裂纹与缺口问题进行了大量的研究。张焯栋等研究缺口对7A85铝合金性能的影响, 深入了解缺口对材料性能的影响机制^[8]。铝合金缺口会导致应力集中, 使得材料在较小的外力作用下发生断裂。李建英等针对建筑铝型材显微组织与性能进行研究, 建筑铝型材变形过程中, 铝型材的晶粒形态会发生变化^[9]。拉伸时, 原本一些大晶粒内部的一些微小晶核开始长大, 形成更多的小晶粒。变形将导致铝型材原本应承受的强度变差, 使其变得不稳定, 或在正常使用中出现不良变化。王建等研究晶向对铝合金构件微动疲劳初始起裂的影响, 更准确地预测和控制材料的疲劳行为^[10]。微动疲劳试验需要较长时间观察和分析材料的疲劳行为, 大量增加了研究时间和成本。邱士雄等研究了TNM (Ti-43Al-4Nb-1Mo-0.1B) 钛铝合金在不同温度 (700 °C和760 °C) 和不同时间热暴露条件下的氧化规律^[11]。采用扫描电子显微镜、能谱仪及X射线光电子能谱分析仪对试样的表面形貌和氧化物组成进行了分析。但研究未提及合金的微观结构、化学成分及热处理工艺等对氧化行为产生的影响。这些因素对氧化过程和氧化物的形成具有重要影响。张小艳等采用放电等离子烧结制备了添加微量稀土元素 (Yb、Ce) 的钛铝合金, 研究其高温抗氧

化性能,探究稀土元素对钛铝合金组织结构、微观形貌、物相组成以及高温抗氧化性能的影响^[12],但研究仅针对添加稀土元素的钛铝合金进行了试验,未考虑其他合金元素(如Nb、Mo等)对高温抗氧化性能的影响。

以前述研究为基础,本文裂纹源位置对铝合金塑性变形件性能的影响进行了探究。制备不同裂纹源位置的铝合金塑性变形件试样,进行力学性能测试和断裂分析,全面了解裂纹源位置对铝合金塑性变形件性能的影响规律。

表1 材料的化学成分
Table 1 Chemical composition of materials

Si	Fe	Mn	Cu	Mg	Zn	Cr	Sr	Al	其他
0.25~0.55	< 0.3	< 0.1	< 0.1	0.55~1	< 0.1	< 0.1	0.2~0.6	余量	< 0.1

表2 铝合金常规力学性能
Table 2 Conventional mechanical properties of aluminum alloy

弹性模量/GPa	屈服强度/MPa	抗拉强度/MPa	密度/(kg·m ⁻³)	伸长率/%	断面伸长率/%
70.5	125.6	290	2 580	27.9	31.8

1.2 铝合金塑性变形件试样制备

制备不同裂纹源位置的铝合金塑性变形件试样,进行力学性能测试和断裂等建筑性能分析^[13]。试验采用6系变形铝合金6061作为材料,其处理流程包括熔炼、半固态冷却、真空铸造、固溶处理及挤压成形。首先,6061铝合金在590℃下熔化,随后迅速冷却至560℃的半固态区间,以确保合金处于理想的成形状态。接下来,熔体在真空环境下铸造,同时铁模预热至450℃,以减少热应力和裂纹,且熔体全程受SF₆与CO₂混合气体(体积比40:1)保护,有效防止氧化。固溶处理阶段,铸锭首先在400℃下保温2 h,随后升温至415℃再保温15 h,以优化合金的微观结构和性能。经过固溶处理的铸锭,在250℃的挤压温度下被送入预先加热至适当温度的模具中。模具规格为320 mm×70 mm×120 mm,试样的整体厚度,即试样在挤压成形后的最终厚度为7 mm,且设计时预留了足够的强度和刚度以承受挤压过程中的压力。以12的挤压比和5 mm/s的挤压速率进行挤压成形,最终获得所需形状和尺寸的铝合金件。制备的试件在退火后进行加工硬化处理,以进一步调整其性能。加工硬化处理是通过机械方式使金属产生塑性变形,从而提高其硬度和强度。在本试验中,根据试样的形状和尺寸选择合适的工艺。加工硬化处理后的试样,其内部组织会发生变化,包括晶粒细化、位错密度增加等,这些变化有助于提高材料的力学性能和抗裂性。在模具设计上,引入凹槽、尖锐边角等特定缺陷作为预定的裂纹源位置,通过改变浇注速度、冷却速率和预定缺陷的设

1 试验材料与方法

1.1 试验材料

以铝合金作为塑性变形件基础材料,制备不同裂纹源位置的铝合金塑性变形件试样。该材料的化学成分如表1所示。

铝合金塑性变形件的尺寸为320 mm×70 mm×120 mm。制备的铝合金塑性变形件,退火后再进行加工硬化处理。铝合金常规力学性能如表2所示。

计,来控制裂纹的萌生和扩展路径。缺口试样尺寸示意图如图1所示。

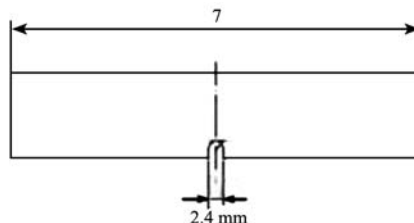


图1 缺口试样尺寸
Fig. 1 Size of notch specimen

所制备的不同裂纹源位置的铝合金塑性变形件试样如表3所示。

表3 含缺口的铝合金塑性变形件试样
Table 3 Plastic deformation specimen of aluminum alloy with notch

试样序号	缺口长度/mm	缺口宽度/mm	缺口深度/mm	裂纹源位置
1				远离缺口
2	2.2	2.4	0.2	缺口中部
3				缺口根部
4		无缺口		无裂纹

1.3 测试指标

1.3.1 力学性能测试

采用TH-8100电子式万能材料试验机,进行力学性能测试。拉伸速度取决于材料的类型、试样的形状和尺寸,测试设备的能力以及测试标准的要求等。在进

行拉伸性能测试时, 拉伸速度在一定的范围内进行调整, 以获取更全面的拉伸性能数据。在本试验中, 拉伸速度应在试验设计阶段根据6061铝合金的特性和测试标准来确定。一般来说, 拉伸速度应慢, 以便在测试过程中能够观察到材料的塑性变形和断裂过程; 同时, 拉伸速度也不应太慢, 以免测试时间过长。在试验中, 根据TH-8100电子式万能材料试验机的操作手册或测试标准来确定合适的拉伸速度。在试样拉伸过程中^[14], 记录试样的受力情况和变形情况。

断裂伸长率 A 计算公式如下:

$$A = \frac{L_2 - L_1}{L_1} \times 100\% \quad (1)$$

式中: L_1 与 L_2 分别表示试样的原始长度以及断裂时的长度。

1.3.2 高温抗氧化性能

选取MW17-2.5-10A型箱式电阻炉, 设置加热温度为320 ℃, 加热时间36 h。高温抗氧化性能测试的试样尺寸较小, 以便于放入高温炉中进行测试。试样的具体尺寸根据高温炉的容量和测试标准来确定。重复试样数为3个, 以评估材料在高温下的抗氧化性能稳定性和一致性。计算试样单位面积质量增重^[15]。

1.3.3 疲劳性能测试

选取SONIC超声疲劳试验机, 进行疲劳测试。设置加载频率为18 kHz, 对称拉压加载次数为 10^3 周次至 10^{10} 周次。疲劳性能测试的试样尺寸根据疲劳试验机的要求和测试标准来确定。试样是带有缺口的试样, 以模拟实际使用中的应力集中情况。具体的试样尺寸和形状包括矩形截面棒材、圆棒材或特定形状的试样。重复试样数为5个, 以获取可靠的疲劳寿命数据和统计结果。缺口位置是通过模具设计和加工精度来保证的。在试样的制备过程中, 模具上设计了特定的凹槽、尖锐边角等缺陷作为预定的裂纹源位置。在挤压成形过程中, 铝合金熔体在模具的约束下形成具有预定缺口形状的试样。通过精确控制模具的制造精度和挤压过程中的工艺参数, 确保每个试样上的缺口位置

和尺寸保持一致。

选取疲劳缺口敏感系数和疲劳缺口系数, 衡量试样的疲劳性能。疲劳缺口系数 K_f 的表达式如下:

$$K_f = \frac{\sigma_{-ls}}{\sigma_{-ln}} \quad (2)$$

式中: σ_{-ls} 与 σ_{-ln} 分别表示不含缺口与含缺口试样的疲劳极限。

疲劳缺口敏感系数的表达式如下:

$$q = \frac{K_f - 1}{K_t - 1} \quad (3)$$

式中: K_t 表示应力集中系数。

1.3.4 试样断口形貌分析

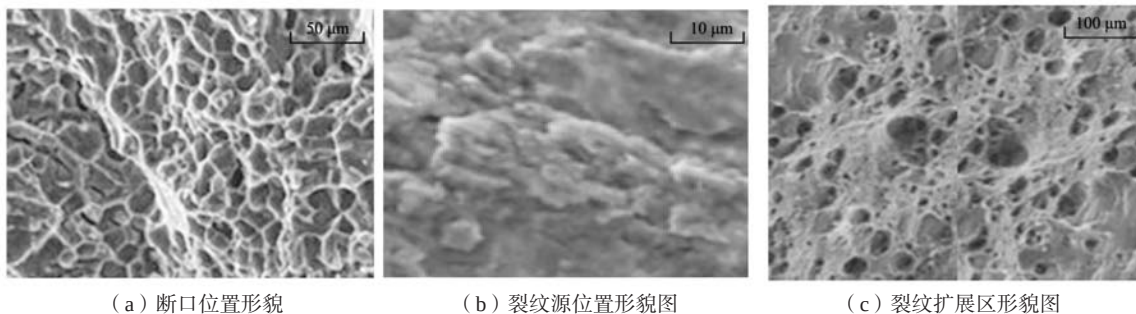
试样制备完成后, 利用X射线和超声波检测技术, 精确确认裂纹源的位置和形态。力学性能测试试样尺寸选择与塑性变形件尺寸相适应的试样尺寸320 mm × 70 mm × 120 mm, 以确保测试结果的代表性, 重复试样个数至少为3个, 以确保测试结果的可靠性和准确性。从塑性变形件上切割出包含预定裂纹源的不同位置试样, 进行力学性能测试, 全面评估裂纹对材料强度和韧性等性能的影响。采用库赛姆EM-30AX扫描电镜, 观察试样的疲劳断口形貌^[16], 并采用附带的能谱仪对疲劳断口的成分进行色散X射线光谱分析。

2 结果与讨论

2.1 试样断口形貌

利用扫描电镜表征含缺口试样的疲劳断口的微观形貌。选取3号试样作为分析对象, 该试样断口位置整体形貌如图2a所示, 该断口试样的裂纹源位置形貌图如图2b所示, 裂纹扩展区如图2c所示。

由图2a可知, 含缺口试样沿着缺口位置的根部出现了裂纹。这是因为在缺口根部, 应力集中现象显著, 使得该区域成为裂纹萌生的首选位置。一旦裂纹萌生, 它将沿着应力集中的方向扩展, 形成宏观的断裂面。此外, 图中还显示了多个放射状的条纹, 这些条纹是从不同的疲劳源位置向外展开的, 表明在试样



(a) 断口位置形貌

(b) 裂纹源位置形貌图

(c) 裂纹扩展区形貌图

图2 试样疲劳断口形貌

Fig. 2 Fatigue fracture morphology of the sample

的不同位置可能存在多个疲劳源,这些疲劳源在循环加载过程中不断发展,最终形成宏观断裂。由图2b可知,裂纹源位于缺口根部,且裂纹扩展的初始阶段呈现出一定的方向性。然而,随着裂纹的不断发展,其扩展方向逐渐变得复杂,形成了杂乱的条纹。这可能是由于在裂纹扩展过程中,受到了不同方向应力的影响,导致裂纹扩展路径发生变化。此外,在裂纹源附近可能存在微小的二次裂纹,这些二次裂纹可能会对主裂纹的扩展产生影响,进一步加剧裂纹的复杂性。由图2c可知,裂纹在扩展过程中形成了杂乱的条纹,这些条纹的方向和长度各异,表明裂纹扩展过程中受到了多种因素的影响。其中,缺口试样形成的放射状条纹中,存在二次裂纹情况,这些二次裂纹可能是由于主裂纹扩展过程中产生的应力集中导致的。此外,还可以观察到多个裂纹条带互相影响,形成了复杂的裂纹网络。这种复杂的裂纹网络可能会降低铝合金塑性变形件的强度和韧性,导致试样在较低的应力水平下发生断裂。

对3号试样的疲劳源区进行色散X射线光谱分析,分析结果如图3所示。

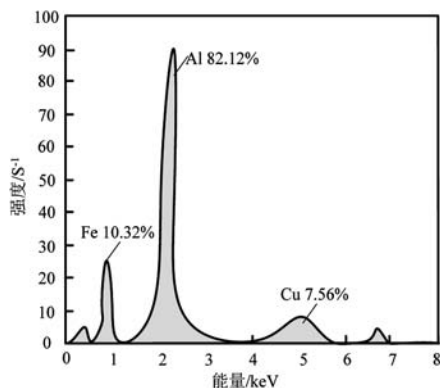


图3 X射线光谱分析结果

Fig. 3 X-ray spectral analysis results

铝合金塑性变形件在制造过程中,可能会因为原料问题或加工过程中引入杂质,导致铁元素等杂质的存在。这些杂质在铝合金中往往以颗粒形式存在,且由于铁与铝的化学性质差异,这些颗粒与基体铝合金之间的结合力较弱。在疲劳载荷的作用下,缺口根部区域由于应力集中而成为裂纹萌生的敏感区域。当这些区域的应力超过铝合金塑性变形件的屈服强度时,裂纹会在应力集中最严重的区域萌生。裂纹一旦在富铁杂质颗粒处萌生,就会沿着材料内部的弱界面或高应力区域扩展。由于富铁杂质颗粒与基体铝合金之间的结合力较弱,这些颗粒往往成为裂纹萌生的起点,表明疲劳断口的形貌特征不仅反映了裂纹的起源和扩展过程,还与材料的力学性能、微观结构以及环境因素密切相关。因此,由图3试验结果可以看出,铝合金

塑性变形件缺口试样的裂纹源位置,包含大量的铁元素大颗粒,即铝合金塑性变形件缺口试样裂纹由试样的富铁杂质位置形成。

2.2 含缺口试样的力学性能

不同裂纹源位置含缺口试样的拉伸性能变化结果如图4所示。

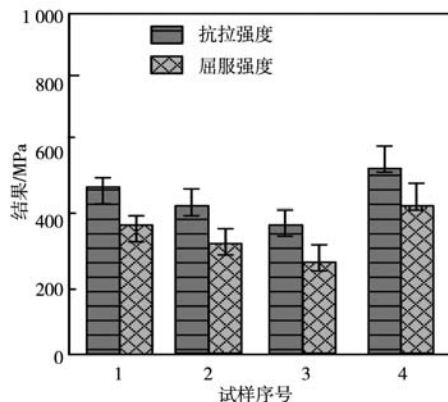


图4 拉伸性能变化

Fig. 4 Tensile performance changes

由图4可知,试样1~3含缺口试样抗拉强度和屈服强度均低于无缺口的4号试样。这是因为无裂纹的试样没有裂纹萌生和扩展的弱点,其强度和韧性主要由铝合金塑性变形件本身决定,因此,其具有更高的抗拉强度和屈服强度。与无缺口的试样4相比,含缺口的试样普遍具有较大的误差范围,这与缺口引入的应力集中和裂纹扩展的不确定性有关。试样1(裂纹源远离缺口),裂纹扩展的驱动力相对较小,由于裂纹源远离应力集中区域,裂纹的萌生和扩展需要更高的能量,因此,其抗拉强度和屈服强度是3种含缺口的试样中最高的。裂纹源位置缺口中部(试样2),裂纹源直接受到缺口引起的应力集中影响,使得裂纹更容易萌生和扩展,因此试样2的抗拉强度和屈服强度低于试样1,但高于裂纹源位于缺口根部的试样3。试样3是最低的,这是因为试样出现缺口时,缺口根部的裂纹源位置应力过于集中,局部位置应力快速提升,达到裂纹扩展阈值。从裂纹源位置不断扩展,影响试样的塑性变化,导致含缺口试样的塑性明显下降。试样2和试样3的误差棒较长,反映了这些试样在制备或测试过程中存在较大的变异性,或者裂纹源位置对强度的影响较大。断口形貌的变化反映了铝合金塑性变形件在特定加载条件下具体的断裂模式和裂纹扩展路径,在一定程度上反映了其断裂机制。探究裂纹源的位置和形态对力学性能的影响,为优化铝合金塑性变形件的设计和 提高其疲劳寿命提供了理论依据。

不同裂纹源位置的铝合金塑性变形件试样的断裂伸长率变化结果如图5所示。

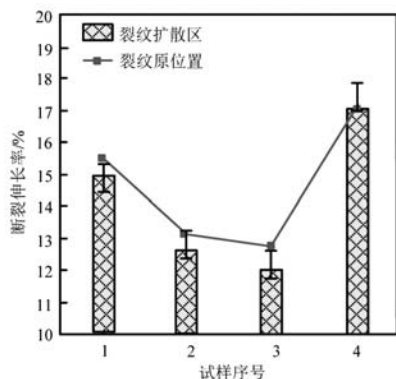


图5 试样的断裂伸长率变化及误差棒

Fig. 5 Changes in fracture elongation of the sample and error bars

由于试样1裂纹源远离缺口，该区域受到的应力集中相对较小。这意味着在拉伸过程中，铝合金塑性变形件有更多的空间来均匀分布应力和发生塑性变形。因此，试样1的扩散区和原位置的断裂伸长率都相对较高，分别为15%和15.5%，表明铝合金塑性变形件在断裂前能够承受较大的塑性变形。试样1的断裂伸长率误差棒较短，表明其塑性变形能力较为稳定。裂纹源位于缺口中部时（试样2），会受到一定程度的应力集中影响，导致在拉伸过程中，裂纹附近的铝合金塑性变形件更容易发生局部屈服和断裂。因此，试样2的断裂伸长率较试样1有所下降。缺口根部（试样3）是应力集中最为严重的区域。结合铝合金塑性变形件试样断口形貌，当裂纹源位于此位置时，裂纹会迅速扩展，导致铝合金塑性变形件在较小的塑性变形后即发生断裂。因此，试样3的断裂伸长率最低，扩散区和原位置的断裂伸长率分别为12%和13%，这是由于缺口根部极高的应力集中导致裂纹快速萌生并扩展，限制了材料的塑性变形能力。较低的断裂伸长率反映了材料在承受载荷时抵抗断裂的能力较弱。试样2和试样3的误差棒较长，反映了这些试样在拉伸过程中塑性变形的较大变异性，与裂纹源位置和应力集中的影响有关。由于没有裂纹源，试样4在整个拉伸过程中能够均匀分布应力和发生塑性变形。因此，试样4的断裂伸长率最高，扩散区和原位置的断裂伸长率均为17%，且误差棒相对较短，表明其塑性变形能力稳定且优异。

2.3 试样的高温抗氧化性能

单位面积质量增量指在特定条件下，铝合金表面单位面积上质量的增加。在高温环境下，这种质量增量往往与铝合金的氧化程度有关。在高温环境下，铝合金塑性变形件的性能会受到一定影响，尤其是抗氧化性能。高温会加速铝合金表面的氧化反应，导致氧化膜形成和增厚。如果氧化膜质量不高或易于剥落，就会进一步加剧氧化腐蚀的程度，影响铝合金塑性变

形件的使用寿命和美观度。不同裂纹源位置的铝合金塑性变形件的高温抗氧化性能结果如图6所示。

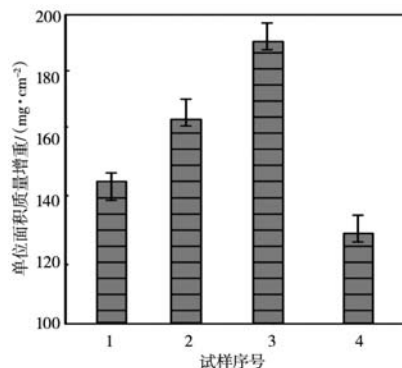


图6 高温抗氧化性能及误差棒

Fig. 6 High temperature antioxidant performance and error bar

从图6试验结果可以看出，4个试样的单位面积质量增量为125~190 mg/cm²之间。试样1裂纹源远离缺口，即试样的主体部分受到的应力集中和损伤较小。在高温环境下，这种试样表面的氧化层能够相对均匀地形成，并且由于裂纹源远离，氧化层不易受到破坏。因此，试样1的单位面积质量增量相对较低，为142 mg/cm²，表明其抗氧化性能较好。试样1的误差棒较短，表明其抗氧化性能较为稳定，单位面积质量增重的变异性较小。裂纹源位于缺口中部时，试样在缺口附近存在应力集中和潜在的损伤。在高温下，这些区域更容易发生氧化反应，导致氧化层形成不均匀，甚至可能因应力集中而破坏氧化层。因此，试样2的单位面积质量增量较高，抗氧化性能相对较差。裂纹源位于缺口根部（试样3）是应力集中最为严重的区域。在高温环境下，这些区域不仅容易发生氧化反应，而且氧化层更容易因应力集中而剥落或破坏。其抗氧化性能与其在拉伸试验中表现出的低断裂伸长率和高脆性断裂倾向是一致的。这表明在高温和应力集中的共同作用下，材料更容易发生失效。因此，试样3的单位面积质量增量最高，为195 mg/cm²，显示出较差的抗氧化性能。试样2和试样3的误差棒较长，反映了这些试样在高温下氧化反应的较大变异性，与裂纹源位置和应力集中的影响有关。无裂纹的试样表面均匀，没有应力集中和潜在的损伤。在高温下，氧化层能够均匀形成，并且不易受到破坏。因此，试样4的单位面积质量增量最低，显示出较好的抗氧化性能。试样4的误差棒相对较短，且单位面积质量增量最低，表明其抗氧化性能稳定且优异。

预制裂纹的存在会在材料内部产生应力集中。在高温环境下，这些应力集中区域会成为氧化反应的热点和加速区。由于应力集中，裂纹附近的原子键合受到干扰，使得该区域的原子更容易与氧发生反应，从而加速氧化过程。因此，缺口中部或根部的裂纹源

位置越靠近应力集中区域,其氧化速率往往越高。其次,铝合金在高温下会形成一层致密的氧化铝膜,这层膜对材料的抗氧化性能至关重要。然而,预制裂纹会破坏氧化膜的连续性和完整性。裂纹附近的氧化膜因应力集中而更容易剥落或产生缺陷,从而降低其保护性能。裂纹还是氧化介质渗透的通道,进一步加速材料内部的氧化过程。预制裂纹不仅影响材料的抗氧化性能,还增加其脆性和断裂倾向。在高温和应力集中的共同作用下,裂纹更容易扩展和连接,导致材料的整体性能下降。这种脆性增加和断裂倾向的提高会进一步加剧氧化腐蚀的程度,因为裂纹的扩展会破坏更多的氧化膜,并增加材料与氧化介质的接触面积。此外,预制裂纹还影响氧化层与基体之间的结合力。在裂纹附近,由于应力集中和氧化反应的加速,氧化层与基体之间的结合变得较弱。这种结合力的降低导致氧化层更容易剥落或脱落,从而进一步降低材料的抗氧化性能。

2.4 试样的疲劳性能

计算不同试样的疲劳缺口系数以及疲劳缺口敏感系数,伴随疲劳寿命的变化如图7所示。

由图7可以看出,当有缺口试样的疲劳寿命小于108次时,疲劳缺口敏感系数与疲劳缺口系数不断增加。疲劳寿命为108次时,疲劳缺口敏感系数以及疲劳缺口系数达到最高值。含缺口试样的疲劳寿命高于108

次时,试样的疲劳敏感系数以及疲劳缺口系数不断降低。即有缺口试样的疲劳性能,呈现先提升而后降低的变化趋势。其中,无裂纹的试样在整个加载过程中能够均匀分布应力和发生塑性变形,不存在应力集中和裂纹萌生的风险。因此,试样4的疲劳寿命最长,疲劳缺口系数和疲劳缺口敏感系数最低。裂纹源位置远离缺口(试样1),该区域的应力集中相对较小,裂纹的萌生和扩展较为困难。在循环加载过程中,试样1的疲劳寿命相对较长,疲劳缺口系数和疲劳缺口敏感系数相对较低。但是,由于缺口的存在仍然会对疲劳寿命产生一定影响,所以疲劳缺口敏感系数与疲劳缺口系数仍然高于无裂纹的试样4。裂纹源位于缺口中部时,该区域的应力集中较试样1更为严重,使得裂纹的萌生和扩展更容易,导致疲劳寿命降低,疲劳缺口系数和疲劳缺口敏感系数相应增加。缺口根部是应力集中最为严重的区域,裂纹源位于此处时,裂纹的萌生和扩展几乎不需要额外的能量。结合试样的断裂伸长率变化发现,试样的疲劳寿命与其断裂伸长率之间通常呈正相关关系。断裂伸长率越高的试样,其疲劳寿命往往越长。这是因为高断裂伸长率的材料在疲劳加载过程中能够更有效地抵抗裂纹的萌生和扩展,从而延长疲劳寿命。上述原因导致试样3的疲劳寿命最短,疲劳缺口系数和疲劳缺口敏感系数最高。这是因为缺口根部的高应力集中使得铝合金塑性变形件在循环加载下极易发生疲劳破坏。

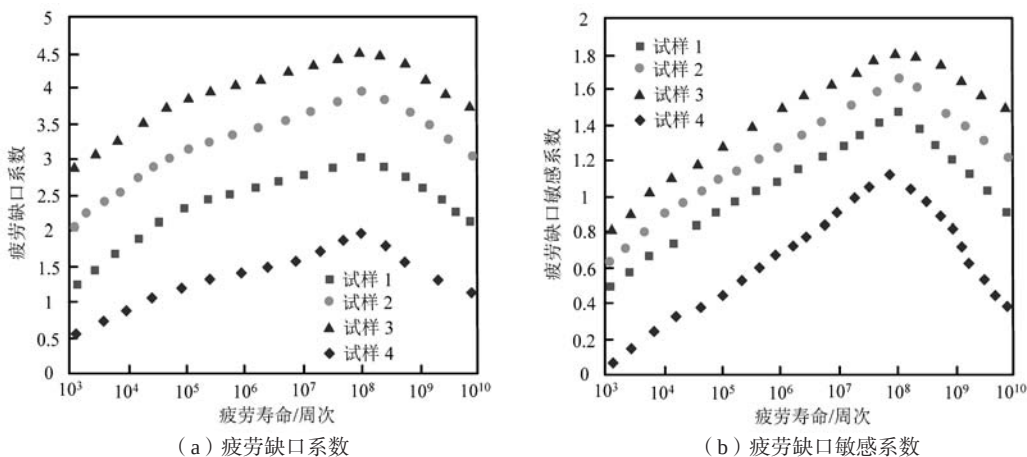


图7 试样的疲劳性能

Fig. 7 Fatigue performance of the specimen

3 结论

(1) 裂纹在应力集中区域萌生,沿应力方向扩展,多疲劳源加速断裂;且裂纹扩展路径复杂,二次裂纹加剧主裂纹扩展。

(2) 缺口降低铝合金塑性变形件的强度和韧性,裂纹源位置越接近缺口根部,强度和塑性下降越显著。

(3) 裂纹源远离缺口时断裂伸长率高,反之则低,无缺口铝合金塑性变形件最高。

(4) 裂纹源位置影响氧化层形成,远离缺口铝合金塑性变形件抗氧化性能较好。

(5) 裂纹源位置决定疲劳寿命,远离缺口疲劳寿命长,缺口根部最短。

综合以上结果可知,在铝合金塑性变形件的设

计、生产和使用过程中,应高度重视裂纹源的控制,通过优化铸造工艺、改善模具设计以及合理结构设

计,尽量避免在关键受力部位或应力集中区域产生裂纹源,以确保塑性变形件的最佳性能。

参考文献:

- [1] 余少凡, 吴金志, 孙国军. H型杆件长细比对单层铝合金球面网壳静力稳定性能的影响研究 [J]. 建筑结构, 2021, 51 (S2): 386-392.
- [2] 胡晓光, 程永锋, 陈宣宇, 等. 国产701铝合金L形轴压构件承载性能研究 [J]. 建筑钢结构进展, 2021, 23 (11): 63-71.
- [3] 白志强, 周彬, 潘月月, 等. 装配式铝合金复合楼板的承载性能试验研究 [J]. 建筑结构, 2021, 51 (18): 40-46, 131.
- [4] 赵静, 周梅. 挤压速度对6063-0.3Sr铝合金建筑型材性能的影响 [J]. 热加工工艺, 2021, 50 (19): 106-108.
- [5] 崔琳琳, 庄向仕, 陈雅兵. 电流密度对建筑用6463铝合金柠檬酸阳极氧化膜性能的影响 [J]. 电镀与精饰, 2021, 43 (8): 1-5.
- [6] 李茂华, 陈志龙, 徐伊雯, 等. 固溶处理对7475铝合金组织和拉伸性能的影响 [J]. 云南大学学报 (自然科学版), 2024, 46 (1): 127-135.
- [7] 沈鹏, 张润锋, 赵永峰, 等. 一种ALMAE-SWSupAE裂纹声发射信号识别算法研究 [J]. 重庆理工大学学报, 2024, 38 (13): 204-210.
- [8] 张焯栋, 赵君文, 范军, 等. 缺口对7A85铝合金拉伸性能和疲劳性能的影响 [J]. 材料导报, 2023, 37 (24): 220-226.
- [9] 李建英, 姜奎, 罗志东, 等. 变形与预时效对建筑铝型材显微组织与性能的影响 [J]. 锻压技术, 2022, 47 (10): 265-271.
- [10] 王建, 阮星源. 晶向对铝合金构件微动疲劳初始起裂的影响研究 [J]. 振动与冲击, 2023, 42 (19): 130-136.
- [11] 邸士雄, 欧白羽, 李维, 等. TNM钛铝合金高温抗氧化行为研究 [J]. 工程科学学报, 2024, 46 (10): 1826-1833.
- [12] 张小艳, 罗铁钢, 刘胜林, 等. 稀土Yb、Ce对钛铝合金高温抗氧化性能的影响 [J]. 粉末冶金技术, 2023, 41 (3): 218-224.
- [13] 陈树梁, 徐雷, 胡元昊, 等. 铝合金预拉伸板残余应力数值模拟方法研究 [J]. 计算机仿真, 2023, 40 (2): 292-296, 516.
- [14] 孙宝才, 孙颖, 张长日, 等. 一种Ni3Al基高温合金冷热疲劳性能研究 [J]. 铸造, 2023, 72 (11): 1399-1403.
- [15] 孟帅举, 肖浩然, 刘浩, 等. Zr对铸态Mg-6Bi合金微观组织和力学性能的影响 [J]. 铸造, 2024, 73 (8): 1096-1102.
- [16] 熊孝经, 吴晓鹏, 张唯, 等. Al-Mn-Sc合金的选区激光熔化工艺优化及室温与高温力学性能研究 [J]. 铸造, 2024, 73 (5): 626-631.

Influence of Crack Source Location on Mechanical Properties and Oxidation Resistance in Plastic Deformation Parts of Building Aluminum Alloys

XU Qiang-lin¹, WU Xiao-cheng¹, ZHANG Ling²

(1. The First Affiliated Hospital of University of Science and Technology of China, Hefei 230001, Anhui, China; 2. Nanchang Jiaotong Institute, Nanchang 330011, Jiangxi, China)

Abstract:

To clarify the influence mechanism of crack source location on aluminum alloy plastic deformation parts, aluminum alloy plastic deformation parts samples with different crack source locations were prepared, and the fracture morphology, mechanical properties, high-temperature oxidation resistance, and fatigue performance of the samples were tested. The experimental results indicate that the strength, toughness, fracture elongation, oxidation resistance, and fatigue life of aluminum alloy plastic deformation parts are significantly affected by the location of the crack source. Samples with crack sources far from stress concentration areas exhibit better performance, can withstand greater plastic deformation, have a uniform and stable oxide layer, and have a lower risk of fatigue failure. On the contrary, for samples with crack sources located in the middle or root of the notch, due to stress concentration and potential damage, all performance indicators have decreased, especially at the root of the notch, where performance is significantly reduced. Therefore, in the design, production, and use of aluminum alloy plastic deformation parts, the control of crack sources should be highly valued to ensure the optimal performance of plastic deformation parts.

Key words:

aluminum alloy plastic deformation parts; the location of the crack source; mechanical properties; fatigue performance; elongation at break