

V 型切口对 06Cr19Ni10 钢低周疲劳寿命的影响

刘俭辉¹, 王生楠¹, 韦尧兵²

(1. 西北工业大学 航空学院 陕西 西安 710072; 2. 兰州理工大学 机电学院, 甘肃 兰州 730050)

摘要: 当应力比 $R = -1$ 时, 对称恒幅循环载荷控制下, 对切口试件进行轴向拉压疲劳试验, 得到不同切口深度和切口角度时试件的疲劳寿命, 在双对数坐标上确定 $S-N$ 曲线, 并拟合出指数表达式。从试验结果可以看出, 当切口深度一定时, 试件寿命随着应力的加大而减小; 切口越深, 试件的寿命越小, 试件寿命减小的速度随着应力幅的增大而减小; 切口角度在 $30^\circ \sim 60^\circ$ 时, 其对试件寿命无影响。

关键词: $S-N$ 曲线; 疲劳试验; 低周疲劳; 切口深度

中图分类号: TH114; TB302.3 文献标识码: A 文章编号: 1001-4837(2012)05-0001-04

doi: 10.3969/j.issn.1001-4837.2012.05.001

Effect of V - Shape Notch on Fatigue Life of 06Cr19Ni10 Steel

LIU Jian - hui¹, WANG Sheng - nan¹, WEI Yao - bing²

(1. Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China; 2. Lanzhou University of Technology, Lanzhou 730050, China)

Abstract: Different depths are cut in the smooth specimen. When the stress ratio $R = -1$ and the loading amplitude is symmetry and constant, the axial tension and compression fatigue tests is conducted. The life of specimens can be got when depth and incision angle are different. The $S-N$ curve can be fitted in the bi - logarithm coordinates. When incision depth is constant value, the life of specimens decrease with the stress increasing. In addition, a deeper incision could lead to shorter life of specimen and the relationship between the notch depth and life is nearly linear. When the incision angle is between 30° and 60° , it has no effect on the service life

Key words: $S-N$ curve; fatigue test; low - cycle fatigue; incision depth

0 引言

06Cr19Ni10 钢是应用较为广泛的一种铬 - 镍不锈钢, 具有良好的耐蚀性、耐热性、低温强度和机械特性, 同时具有良好的加工性能和可焊性。

它广泛用于制作要求良好综合性能(耐腐蚀和成型性)的设备和机件中, 在机械、航空航天等领域中应用比较广泛, 主要用于制造油气管、压力容器等, 大多在特殊的工作环境中服役。油气管、压力容器等在整个寿命内受到的循环次数有限, 例如压力容器有时每天只受到几个载荷循环^[1-3]。在

基金项目: 国家科技重大专项项目(2009ZX04001-015)

工程中,任何零构件都存在缺陷,当缺陷足够大时就会严重影响零构件的寿命,甚至会使零构件在短时间内断裂失效。因此,研究切口试件的疲劳断裂特性很有必要^[4-9]。切口试件可以根据现有公式来计算出其疲劳切口系数,可以根据疲劳切口系数来大致估计切口试件的寿命,但是这种方法只能初步估计其疲劳寿命,而且这种方法不一定适用于任何材料。因此,要想准确了解 06Cr19Ni10 钢的疲劳断裂特性,除了利用软件进行分析外,还要对 06Cr19Ni10 钢疲劳切口试件进行试验。本文中的切口主要是 V 型切口,主要研究切口深度和切口角度对试件疲劳性能的影响^[10-14],并通过试验来研究 V 型切口对

06Cr19Ni10 钢寿命的影响。

1 试验内容及方法

1.1 试验材料

在疲劳试验机上对 06Cr19Ni10 钢进行静强度测试,试验部分直径 $d = 11 \text{ mm}$,长度 $l = 20 \text{ mm}$ 。当试件加载到 56.8 kN 时试件发生断裂,将试验断开两部分对接,测量对接后试验部分长度为 29 mm,由此可以计算出 06Cr19Ni10 钢的应变率。其成分及性能如表 1 所示,各项指标均满足 06Cr19Ni10 钢的性能要求,疲劳试验参数将参照此试验结果。

表 1 06Cr19Ni10 钢化学成分及性能

项目	C/%	Mn/%	S/%	P/%	Si/%	Cr/%	Ni/%	σ_b /MPa	δ /%
数值	0.054	0.79	0.002	0.034	0.42	17.27	8.14	567	45

1.2 试验设备

试验采用岛津(SHIMADZU)EHF-EM100kN 电液伺服高频疲劳试验机,见图 1。其最大载重为动态 $\pm 100 \text{ kN}$,最大振幅 $\pm 25 \text{ mm}$,试验机控制方式采用计算机控制的包含 DSP,采用 32bit 处理装置的全数字化测算控制方式,实现试验的自动控制 and 数据的自动采集。试验的软件为 GLUON TESTING 和 GLUON DATAPROCESSING,试验机的载荷精度和对中度均满足 ASTM E606-80 和 GB 6399-86 要求。



图 1 高频疲劳试验机

1.3 试样制备

试验试样的制作参考了 ASTM E606-92 以及 GB/T 15248-94《轴向等幅低周疲劳试验方法》,GB 3075-82《金属轴向往疲劳试验方法》等标准。试件形状及尺寸见图 2。

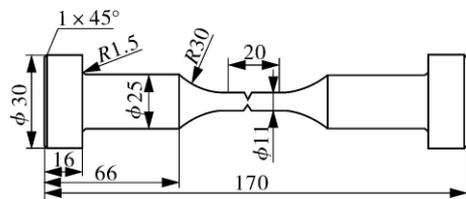


图 2 拉压试样

切口参数如图 3 所示。

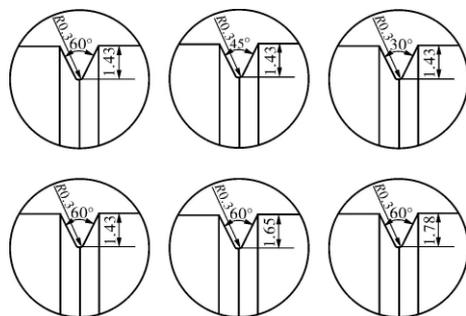


图 3 切口参数示意

1.4 试验条件

疲劳试验为轴向拉压对称循环试验,应力比 $R = -1$, 加载频率 $f = 10 \text{ Hz}$ 。试验温度为室温,试验中载荷控制方式为应力控制,载荷波形采用三角波。

2 试验结果及分析

2.1 切口试样试验结果

试验中的应力按照名义应力来计算。每个工况下试验 3 次,取其平均值,以及对部分数据进行多次试验修正,结果如表 2 所示。

表 2 切口试样试验数据

应力/MPa	切口深度/mm		
	1.43	1.65	1.78
199	1983	1440	1371
189	2547	2376	2209
178	4472	3310	3016
167	7825	6249	5715

文中试验是在控制应力条件下进行的,对试验数据取对数,在双对数坐标上对结果进行描点并对数据进行线性拟合,结果如图 4 所示。

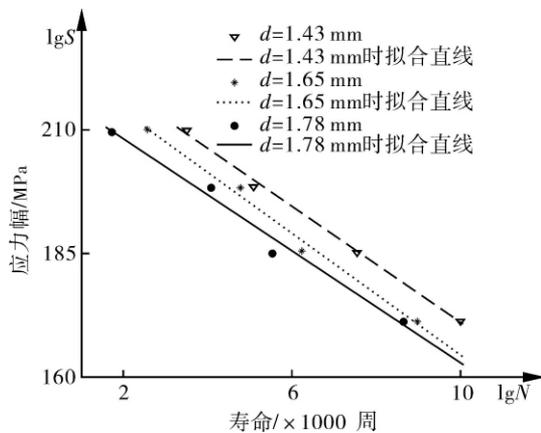


图 4 缺口 S-N 曲线

通过最小二乘法可以拟合出应力与寿命的表达式:

当 $d = 1.43 \text{ mm}$ 时:
 $N = 500.8411 \times S^{-0.1229}$
 当 $d = 1.65 \text{ mm}$ 时:
 $N = 485.4003 \times S^{-0.1223}$

当 $d = 1.78 \text{ mm}$ 时:

$$N = 691.3532 \times S^{-0.1192}$$

从图 4 可以看出,试验数据在双对数坐标中近似在一条直线上,并且斜率近似相等。因此只要知道切口深度以及应力水平,就能计算出试件的寿命。

2.2 应力水平对疲劳寿命的影响

在试验时应力水平取 4 个等级,其中应力水平最高的取 $0.35\sigma_b$,按幅度 $0.02\sigma_b$ 递减试验数据如表 2 所示。

由拟合得到的公式和图 4 可以看出:当寿命小于 10^4 周,切口深度一定时,寿命随着应力幅的减少而增大;切口试件应力与寿命呈指数关系,也就是说试件寿命减小的速度随着应力幅的增大而减小;应力与寿命在双对数坐标中呈线性关系。

2.3 切口深度对疲劳寿命的影响

文中通过在试件上切不同深度的切口来研究切口深度对试件寿命的影响,在光滑试件上进行环向切口,切口深度 d 各不相同,其中 d/D 分别为 0.13, 0.15, 0.17。其试验结果如表 2 所示。拟合表中数据,结果如图 5 所示。

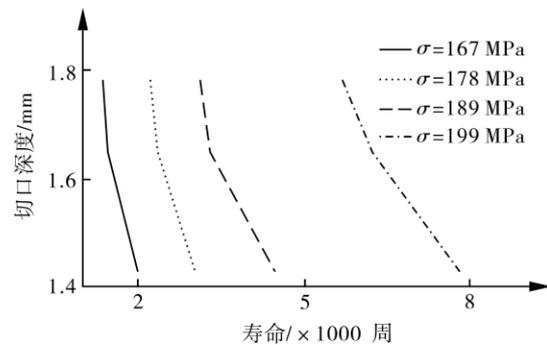


图 5 切口深度与寿命关系

由图 5 可以看出:切口越深,试件的寿命越短,切口深度越大,斜率越小,切口深度对试件的寿命影响也就越小,也就是说试件寿命对切口深度的敏感度下降。

2.4 切口角度对疲劳寿命的影响

通过在光滑试件上切不同角度的切口来研究其对疲劳寿命的影响^[15-16]。当切口深度 $d = 1.43 \text{ mm}$ 、尖端半径 $r = 0.3 \text{ mm}$ 、应力 $\sigma = 167 \text{ MPa}$ 时,切口角度分别为 30° 、 45° 和 60° 。在疲劳试验机上进行疲劳试验,每个切口角度进行两次试验,

试验结果如表 3 所示。

表 3 不同切口角度试验数据

切口角度/ $^{\circ}$	第一次/周	第二次/周
30 $^{\circ}$	7983	7691
45 $^{\circ}$	8012	7654
60 $^{\circ}$	7769	7834

将试验数据在图中描点,如图 6 所示。

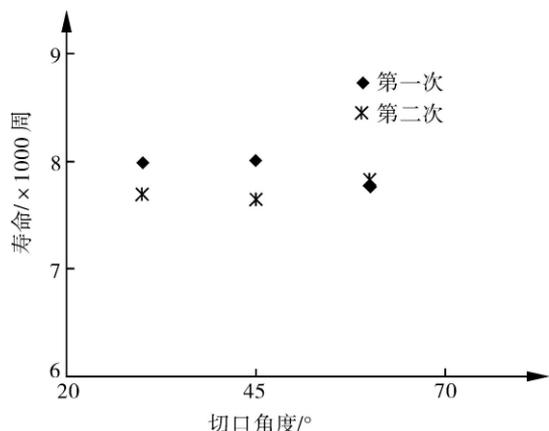


图 6 切口角度与寿命的关系

由图 6 可以看出,每次的试验数据相差不大,差值均在寿命的 5% 之内,因此可以认为,切口角度在 30 $^{\circ}$ ~60 $^{\circ}$ 之间时对试件的寿命影响很小,甚至无影响。

3 结论

当切口深度一定时,切口试件的寿命随着应力幅的增大而减小,在双对数坐标中近似成线性关系,拟合出的应力与寿命关系表达式具有指数关系;切口越深,试件寿命越短,试件寿命对切口深度的敏感度随着切口深度的增加而下降;当切口角度在 30 $^{\circ}$ ~60 $^{\circ}$ 之间时,其对试件寿命无影响。由试验可知,切口深度 $d = 1.43$ mm $d = 1.65$ mm $d = 1.78$ mm 对疲劳寿命的影响,以此可以估算出其他切口深度对寿命的影响。结合上面提到的应力寿命双对数关系、切口深度与寿命的关系以及切口角度对疲劳寿命的影响,可以估计 V 型切口 06Cr19Ni10 钢试件的疲劳特性。

参考文献:

[1] 张真源,王弘. 06Cr19Ni10 钢的超高周疲劳性能

[J]. 机械工程材料 2008, 32(1): 79-83.

- [2] 张莉,江慧丰,姜恒. 不同加载条件下 316L 不锈钢的疲劳蠕变行为研究[J]. 压力容器 2008, 25(7): 6-9.
- [3] 李永泰. 压力容器分析设计需讨论的若干问题[J]. 压力容器 2007, 24(2): 45-46.
- [4] 马小明,廖清常. 大型铸造不锈钢阀体失效原因分析[J]. 中国铸造装备与技术 2009, (6): 29-31.
- [5] 赵邦戟,魏庆同,郎福元. 裂纹技术的基本原理与应用研究进展[J]. 力学进展 1988, 18(3): 343-352.
- [6] 莫立华,高杰,李凤岐. 高强度钢瓶人工缺口疲劳试验的研究[J]. 压力容器 2005, 22(9): 13-15.
- [7] 高镇同,熊峻江. 疲劳/断裂可靠性研究现状与展望[J]. 机械强度 1995, 17(3): 61-80.
- [8] 钱桂安,王茂廷,王莲. 压力容器低周疲劳裂纹萌生寿命的可靠性分析[J]. 压力容器 2005, 22(7): 1-4.
- [9] 靳伍银,侯运丰,龚俊. 机车用齿轮断裂失效分析[J]. 甘肃工业大学学报 2001, 26(2): 1-7.
- [10] Zhao B J, Wei Q T, Lang F Y. Research on an Inverse Problem of Fracture Mechanics [J]. International Journal of Fracture 1992, 55(3): 43-46.
- [11] 李有堂,俞焕然. 具有环形切口圆杆在弯曲载荷下的断裂问题[J]. 兰州大学学报 1996, 32(4): 34-39.
- [12] 段权,程光旭,姜培正. 16MnR 低周疲劳裂纹萌生寿命的统计分布研究[J]. 压力容器 2000, 17(1): 42-47.
- [13] Li Y T, Tan S, Duan H Y. Investigation of Fracture Design for Medium Carbon Steel under Extra-low Cyclic Fatigue Inaxial Loading [J]. Acta Mechanica Solida Sinica 2008, 21(4): 375-382.
- [14] Li Y T, Ma P, Song M. Effect of Supporting Conditions on the Fatigue Life of Shaft Based on Product Lifecycle Management [J]. Key Engineering Materials, 2008, 385-387(1): 109-112.
- [15] 苏世清,匡振邦. V 型切口试样脆断准则的研究[J]. 上海交通大学学报 1990, 24: 89-96.
- [16] 李有堂,杨萍,靳伍银. 计算切口应力集中系数的无限相似单元法[J]. 机械工程学报, 2000, 36(12): 101-104.

收稿日期: 2011-12-23 修稿日期: 2012-04-17

作者简介: 刘俭辉(1985-),男,研究方向为疲劳、断裂,通信地址: 710072 陕西省西安市友谊西路 127 号西北工业大学 483 信箱 E-mail: liujianhui2010@163.com.