

42-44

cf53 钢的弯曲性能和多冲性能

向定汉* 李新福 (武汉水利电力大学建筑工程系,湖北武汉 430072)
张良运 (西安交通大学材料科学与工程学院,陕西西安 710049)
余正模 (贵阳钢厂)

A 摘要 研究了cf53钢的静弯性能、弯曲疲劳性能。用小能量多冲试验测出了cf53钢的A-N曲线,分析了不同能量下多冲断口的微观断裂机制。

关键词 弯曲疲劳 冲击试验 调质钢 钢

TG142.41

Bending and Repeated Impact Properties of Steel cf53

Xiang Dinghan Li Xinfu

(Wuhan University of H. & E. Engineering, Wuhan Hubei 430072, PRC)

Zhang Liangyun (Xi'an Jiaotong University, Xi'an Shangxi 710049, PRC)

Yu Zhengmo (Guiyang Steel Works)

(15)

Abstract A study was made of the dead bending property of steel cf53. The A-N curve of its high frequency induction hardening was measured by the method of repeated impact test. A new formula for prediction of the repeated impact fatigue crack initiation life from the tensile properties of steel cf53 has been developed. Micromechanism of repeated impact fracture in different conditions has been analysed with SEM.

0 引言

cf53 钢是从德国引进的凸轮轴专用钢,经多年来的实际应用,综合力学性能好,各项指标均达到国外同类先进水平。

1 静弯试验

1.1 试验用钢的化学成分(%)

C 0.52, Mn 0.56, Si 0.28, P 0.023, S 0.014, Cr 0.1, Ni 0.1, Cu 0.15.

1.2 试样尺寸及加载方式

静弯试样采用 80mm×10mm×6mm 的缺口试样,缺口底部半径 r=0.75mm,支点间距 60mm,三点弯曲方式加载。

1.3 试样加工

加工工序:锻造→退火→正火→刨→淬火→回火→精磨。

* 男,30岁,讲师,工学硕士

1996-04-21 收到初稿, 1996-07-15 收到修改稿

热处理工艺:退火,750℃保温 2.5h,炉冷;正火,850℃保温 40min,空冷;淬火,850℃盐浴保温 8min,油冷;回火,180℃,保温 2h,空冷。

1.4 试验结果

在WE-60型万能试验机上进行,试验结果见表1。

表1 弯曲试验结果

序号	1	2	3	4	5
载荷.kN	14.7	14.7	15.7	15.7	14.9
挠度.mm	1.1	1.1	1.2	1.4	1.15
弯曲应力.MPa	263.1	264.9	284.4	290.7	269.3

试验结果取平均值,断裂载荷 $\bar{P}=15.1\text{kN}$,挠度 $\bar{f}=1.2\text{mm}$,抗弯强度 $\bar{\sigma}_{bb}=274.5\text{MPa}$ 。

2 弯曲疲劳试验

采用长 100mm,工作部位直径为 6.5mm 的光滑试样,在 12 型旋转弯曲疲劳试验机上进行疲劳试验。试验频率 50Hz,应力循环对称系数 R=-1。

经调质(850℃盐浴 15min,淬水,550℃回火 2h)的

光滑试样, 旋转变形疲劳极限 $\sigma_{-1} = 239\text{MPa}$ 。

3 多冲性能试验

3.1 试样尺寸及加载方式

经过预先热处理的棒料加工成 $\varnothing 14\text{mm} \times 140\text{mm}$ 的试样, 在试样中间开 $r=1\text{mm}$ 的环形缺口, 采用循环三点加载冲击。

试样加工工序: 精车 → 磨 → 开缺口 → 高频淬火 + 回火。取两根试样截断磨平后测维氏硬度, 缺口处硬化层深 1.2mm , 非缺口处 1.8mm 。

3.2 试验结果

多次冲击试验是衡量金属材料在小能量多次冲击载荷下破断抗力的方法, cf53 钢作为凸轮轴专用钢, 在循环冲击载荷下工作, 因此, 材料冲击性能的研究是对实际工况的模拟, 尤其重要。

本试验在德国进口的 DSWU-150 多冲试验机上进行, 冲击频率为 $450\text{次}/\text{min}$, 冲击能量在 $1.225 \sim 5.88\text{J}$ 范围内连续可调, 试验结果见表 2。

表 2 多冲试验结果

能量 A, J	1.47	1.96	2.94	3.92	5.88
冲断次数 N	$>10^5$	21552	11737	6912	1714

上述结果用最小二乘法拟合, 得破断次数与能量关系式:

$$N = (2093.4 + 4069.9A - 683.6A^2) / \ln(A/1.4)$$

计算值与实测值之间误差较小, 能够较准确计算任何能量下的破断寿命。

3.3 多冲疲劳裂纹起始寿命估算表达式

文献[3]导出了 40CrNiMoSi 钢多冲疲劳裂纹起始寿命估算表达式(试样尺寸 $130\text{mm} \times 12.5\text{mm} \times 20\text{mm}$):

$$N_i = a[K_i \cdot \Delta\sigma]^\beta$$

式中, $\beta = \frac{2}{(1+n)c}$, $a = (E\sigma_1\epsilon_1)^{\beta/2}$, K_i 为应力集中系数

估算式中有关参数的确定:

真实断裂应变: $\epsilon_1 = -\ln(1-\psi)$

断裂强度: $S_b = \sigma_b(1+\psi)$

修正断裂强度: $\sigma_1 = BS_b$

$$B = 0.92 - 0.134(\epsilon_1 - 0.5)$$

形变硬化指数: $n = \lg(\sigma_1/\sigma_0) / \lg(500\epsilon_1)$

疲劳塑性指数:

$$C = -\lg[3.31e^{0.25} / \sqrt{1 - 81.8(\sigma_1/E)(1+\psi)^{0.75}}]$$

将该公式用于 cf53 钢, 估算启裂寿命偏差甚大, 尤其是小能量状态下, 偏差更大, 因此对上述公式进行修正。

3.3.1 $\Delta\sigma$ 值

$$\Delta\sigma = \frac{M}{W} = \frac{1}{4} \frac{PS}{\frac{\pi}{32}d^3} = \frac{8}{\pi} \frac{PS}{d^3}$$

假设冲击能量全部为试样吸收, 据材料力学公式可得:

$$U = \frac{P^2 S^3}{96EI} = \frac{P^2 S^3}{96E \frac{\pi}{64} d^4} = A, \quad P = \sqrt{\frac{3\pi E d^4 A}{2S^3}}$$

于是 $\Delta\sigma = 664.5 \sqrt{A}$, MPa

3.3.2 补偿因子 m

在较低能量状态下, 估算寿命严重偏低, 主要是估算式推导过程中, 总应变近似等于塑性应变, 即 $\epsilon \approx \epsilon_p$, 忽略了弹性应变的影响。在低能量下, 弹性应变 ϵ_e 较大, 从而导致了估算误差。因此, 对估算式进行修正, 乘一补偿因子 m:

$$m = \left(\frac{\sigma_e}{\sigma_0}\right)^x \quad \text{式中: } x = \frac{A}{A-1.31}$$

考虑弹性应变 ϵ_e 的影响, 多冲寿命估算式为:

$$N_i = (\sigma_0/\sigma_e)^x \cdot a \cdot (K_i \cdot \Delta\sigma)^\beta$$

3.3.3 热处理状态系数 H

不同的热处理状态对多冲寿命有较大的影响, 所以, 估算式与热处理状态系数 H 有关。

$$N_i = H \cdot m \cdot a(K_i \cdot \Delta\sigma)^\beta$$

3.3.4 结果计算与分析

对圆形缺口应力集中系数 $K_t = 2.25$, cf53 钢高频淬火的试样, 热处理状态系数 $H = 2$, 疲劳塑性指数 $c = -0.4034$ 。计算值与实测结果见图 1。

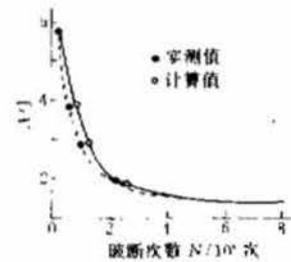


图 1 多冲疲劳寿命估算值与实测值

图 1 表明, 通过修正的多冲疲劳裂纹起始寿命具有一定的准确性, 并且能够进行无限寿命计算。在能量较小时, 虽然总应变中的弹性应变 ϵ_e 所占比例增大, 使得 $\epsilon \approx \epsilon_p$ 误差变大。但是, 由于补偿因子 m, 使公式仍保持准确性, 而热处理状态系数 H 使公式适合不同工艺下的多冲寿命估算。公式也适合其它钢种, 由于疲劳塑性指数 c 估算方法较多, 具有统计性和经验性, 使公式适用范围受到限制。

4 多冲断口分析

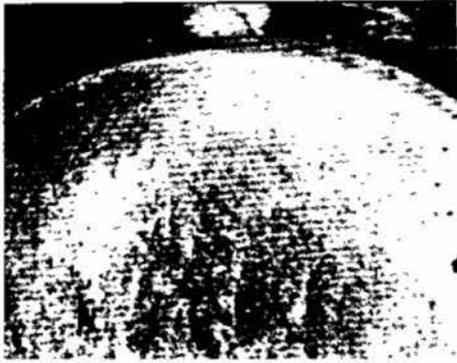


图 2 5.88J 断口裂纹源区 12.3×

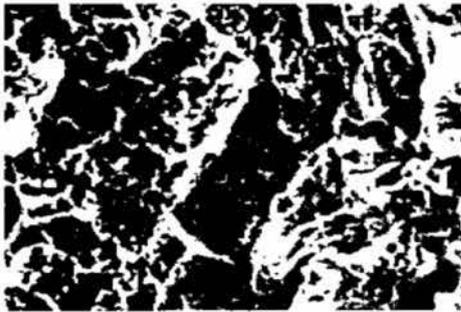


图 3 5.88J 能量下试样的中心区 500×

从图 2 看出,多冲疲劳有明显的裂纹源,且其扩展区呈放射线分布,汇合于裂纹源,在裂纹扩展区有明显的撕裂台阶,高能量下呈高应力剪切的结果。

在裂纹源处,裂纹萌生于下表层,拉应力导致裂纹尖端塑性区内马氏体板条间滑移量过大,沿板条间界面开裂而形成微裂纹,在交变应力作用下,主裂纹顶端塑性区的微裂纹与主裂纹连接,从而使主裂纹向前扩

展,形成裂纹源区。对于较高能量的多冲,裂纹以沿晶界扩展为主,而对较低能量的多冲,裂纹既有沿晶界扩展,又有穿过晶界扩展,具有准解理的特征。由于多次冲击的能量以波的形式高速传播,裂纹迅速扩展,出现宏观撕裂的现象。

从图 3 多冲试样的中心区可以观察到解理层,这是由于二次裂纹和主裂纹在扩展过程中因形变过大改变走向而形成的。断口中有变形了的韧窝,同时又具有塑性断裂的特征。

5 结论

5.1 cf53 钢缺口静弯试验,抗弯强度 274.5 MPa,挠度 1.2mm。cf53 钢调质后,σ₋₁ = 329MPa。

5.2 cf53 钢高频感应淬火的多次冲击试验,破断次数与能量 A 关系式:

$$N = (2093.4 + 4069.9A - 683.6A^2) / \ln(A/1.4)$$

5.3 cf53 钢裂纹启裂估算式为:

$$N_i = H \cdot m \cdot a \cdot (K_i \cdot \Delta\sigma)^b$$

5.4 cf53 多冲断口有明显的疲劳源,裂纹萌生于下表层,断口形貌为韧窝,具有塑性断裂的特征,具有良好的抗弯性能和冲击疲劳性能。

参 考 文 献

- 1 周惠久,黄明志.金属材料强度学.北京,科学出版社,1989.479~494
- 2 Makoto, Slinsaku. Plastic Deformation Behavior of Rail Steels under Cyclic Impact Blows. ISIJ International, 1989,29(11),943~953
- 3 邹远鹏.0.4C-镍镍铜多冲疲劳裂纹起始寿命估算.航空学报,1989,10(9),A487~492
- 4 Iguchi H. Failure Mechanisms in Impact Fatigue of Metals. Fatigue of Engineering Materials and Structures, 1979, 2(2),165~176

· 新书介绍 ·

《先进制造技术》

《先进制造技术》一书由中国机械工业出版社正式出版,本书为 16 开精装本,150 多万字,售价 150 元(含邮资)。本书收录了中国机械工业部总工程师朱森第、中国工程院院士、机械工业部科技委副主任姚福生、中国科学院副院长路甬祥、中国工程院院士徐滨士、郭孔辉、中国科学院院士王立鼎、著名教授张曙、国家科委工业司陈贤杰和国家自然科学基金委雷源忠等人的报告和精选的 200 余篇论文,内容包括现代设计技术、设计原理与方法,机器人与自动化,CAD、CAM、CAE、CAPP 和 CIMS,制造过程模拟、虚拟制造,快速成型,现代铸造,精密成型、超塑成型,先进焊接技术,热处理与新材料及其加工技术,表面工程,激光加工和其它特种加工技术,先进传动技术,精密和超精密加工、系统测量、亚微米与纳米材料及其制造技术,高速切削和超高速切削,先进制造技术的发展战略,制造业环境保护技术,先进生产、组织及管理技术等专题。可供与制造技术相关企业、大专院校、科研单位的领导、科技人员、管理人员以及大专院校师生参考。可通过邮局或银行汇款购买。开户行:工商银行北京海淀东升分理处;帐号:891207-62;收款单位:机械工业部北京机电研究所,务请注明“购《先进制造技术》书款 张立斌收”;邮编 100083,北京学清路 18 号。

中国机械工程学会青年工作委员会



访问我们的官方网站了解更多内容

扫描二维码关注