

16Mn钢对接接头疲劳寿命的超载效应

凌 超* 郑修麟

(西安 西北工业大学)

摘 要 本文实验研究拉伸超载对16Mn钢对接接头的疲劳寿命及焊趾处表面残余应力的影响。实验结果与分析表明,拉伸超载虽能提高焊趾处表面宏观残余压应力的绝对值,但对16Mn钢对接接头的疲劳寿命无明显的影响。这说明影响16Mn钢对接接头疲劳寿命及其超载效应的主要因素,不是超载引起的焊趾处表面的宏观残余应力。此外,还对试验结果的工程应用作了简要的讨论。

关键词 疲劳寿命;残余应力;超载

0 序 言

文献〔1〕指出,焊接钢梁下翼缘中的对接接头的疲劳寿命,可用受拉-拉应力循环的对接接头试件来进行模拟试验研究。然而,焊接钢梁(如铁路桥梁)在实际运营中,常受到变幅载荷的作用。为精确估算焊接钢梁下翼缘对接接头在变幅载荷下的疲劳寿命,有必要研究拉伸超载对16Mn钢对接接头疲劳寿命的影响,即超载效应,因为超载效应可以表征载荷谱中大、小载荷的交互作用〔2〕。

一般认为,影响焊接件疲劳寿命超载效应的主要因素,是超载引起的表面残余压应力〔3〕。因此,本文试验研究了拉伸超载对16Mn钢对接接头疲劳寿命的影响,测定了超载前后16Mn钢对接接头焊趾附近表面残余应力的变化,进而分析表面残余应力在16Mn钢对接接头疲劳寿命超载效应中的作用。

1 试验工作

1.1 材料与试件制备

试验材料为16Mn钢热轧板材,厚度为10mm,宽度为1.6m。板材的拉伸性能为: $\sigma_s=550\text{MPa}$ 、 $\sigma_b=389\text{MPa}$ 、 $\psi=75.8\%$ 。采用埋弧自动焊工艺将板材对接,焊缝与板材的轧制方向垂直。焊接工艺参数见表1。这种工艺是我国铁路钢桥的现行焊接工艺。

表1 试件的焊接工艺参数

Table 1 Parameters of process used to weld specimens

Welding rod	Flux	Feed rate of rod	Welding speed	Current	Voltage
$\phi 5$, H08A	Hj431	62.5m/h	32.0m/h	680 $\pm$ 20A	31 $\pm$ 1V

1939年11月14日收到初稿,1990年9月30日收到修改稿。

本项研究得到国家教委博士点基金支持。

* 现在天津河北工学院工作

将对接好的 16Mn 钢板用气割法切出宽度约为 140mm 的板条, 再刨削两侧以消除气割热影响区, 最后加工成如图 1 所示的疲劳试件。

1.2 超载方式与疲劳试验

疲劳试验前, 先对 16Mn 钢对接接头试件施加一次大超载, 随后卸载进行疲劳试验, 如图 2 所示。超载时的名义应力 $S_{0.5} = 358 \text{ MPa}$ 。

疲劳试验在 ZD-100 型疲劳试验机上进行, 加载精度为 $\pm 200 \text{ N}$, 加载频率为 $400 \sim 450 \text{ cpm}$ 。

1.3 残余应力的测定

在超载前后, 分别测定 16Mn 钢对接接头焊趾附近表面的残余应力。残余应力在 XYL-75 型 X 射线应力仪上测定, 测定部位如图 3 所示。测定条件是: Cr 靶, 25 kV , 用 $0 \sim 45^\circ$ 法测应力, 铁素体 (211) 晶面, 七点抛物线法定峰, 强度值经角因子修正。

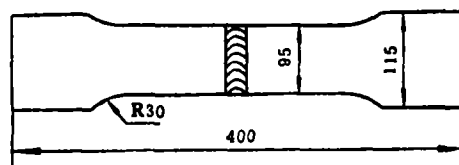


图 1 16Mn 钢对接接头疲劳试件

Fig. 1 Configuration of fatigue test specimen of 16Mn steel butt weld

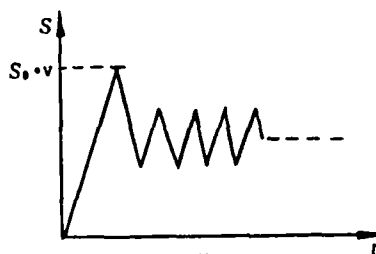


图 2 超载示意图

Fig. 2 Schematic sketch of overloading

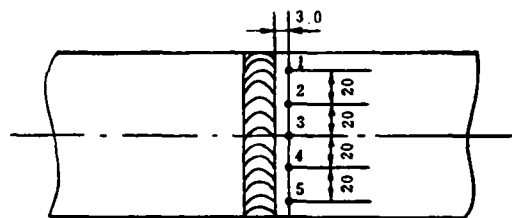


图 3 残余应力的测定部位

Fig. 3 Locations for measuring residual stress

2 试验结果

2.1 超载对疲劳寿命的影响

超载后的 16Mn 钢对接接头中, 疲劳裂纹仍在焊趾处的表面形成, 随即以表面半椭圆裂纹或角裂纹的形式扩展, 直至穿透试件的厚度。这一过程与未经超载的 16Mn 钢对接接头中的裂纹形成与扩展过程相同^[1]。

超载后, 16Mn 钢对接接头的疲劳寿命试验结果列入表 2。文献〔4〕表明, 对于不含裂纹式缺陷的 16Mn 钢对接接头, 其疲劳裂纹起始寿命占疲劳寿命的主要部分。本文试验中所用的试件, 经断口观察后, 未发现其中有焊接裂纹。因此, 可以将疲劳寿命表示为当量应力幅 ($\Delta\sigma_{eq}$) 的幂函数^[1], 从而表明应力比对 16Mn 钢对接接头疲劳寿命的影响。回归分析给出下列表达式:

$$N_f = 1.17 \times 10^{15} \Delta\sigma_{eq}^{-4.3} \quad (1)$$

$$\Delta\sigma_{eq} = \sqrt{\frac{1}{2(1-R)}} \Delta S$$

表2 超载后16Mn钢对接接头的疲劳寿命试验结果

Table 2 Test results of fatigue life of 16Mn steel butt welds after overloading

No.	$S_{0.2}$ (MPa)	S_{max} (MPa)	S_{min} (MPa)	R	ΔS (MPa)	$\Delta \sigma_{eq}$ (MPa)	N_f (cycles)
1	358	340	70	0.2	270	215	6.94×10^4
2	358	340	70	0.2	270	215	7.2×10^4
3	358	340	70	0.2	270	215	1.14×10^5
4	358	340	70	0.2	270	215	7.5×10^4
5	358	335	135	0.4	200	183	2.22×10^5
6	358	335	135	0.4	200	183	1.92×10^5
7	358	335	135	0.4	200	183	1.72×10^5
8	358	335	135	0.4	200	183	8.9×10^4
9	358	250	100	0.4	150	137	3.6×10^5
10	358	250	100	0.4	150	137	5.34×10^5
11	358	250	100	0.4	150	137	7.2×10^5
12	358	250	100	0.4	150	137	1.3×10^6
13	358	250	100	0.4	150	137	1.04×10^6
14	358	250	100	0.4	150	137	$>1.5 \times 10^6$
15	358	250	100	0.4	150	137	1.18×10^6
16	358	250	100	0.4	150	137	$>1.5 \times 10^6$

式中 N_f 为疲劳寿命周次, ΔS 为名义应力范围, R 为应力比。图4表示16Mn钢对接接头疲劳寿命试验结果的最小二乘拟合。为了比较,图4中也给出了未经超载的16Mn钢对接接头的疲劳试验结果。由图4可见,超载对16Mn钢对接接头的疲劳寿命无明显的影响。

2.2 超载对焊趾附近表面残余应力的影响

超载前后,在距焊趾约3mm处,测定的6Mn钢对接接头表面残余应力值列入表3。由表3中的数据可见,超载引起了表面残余应力绝对值的升高。这与文献〔5〕中给出的局部应变计算模型预测的结果一致。

表3 16Mn钢对接接头焊趾附近表面残余应力 σ_r (MPa) 的测定结果(4次测定的平均值)Table 3 The values of residual stress σ_r (MPa) measured by X-ray near weld toe in 16Mn steel butt welds (average value of 4 measurements)

Condition	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5
No overloading	-26	-20	+3	-17	-11
Overloading	-39	-51	-91	-90	-56

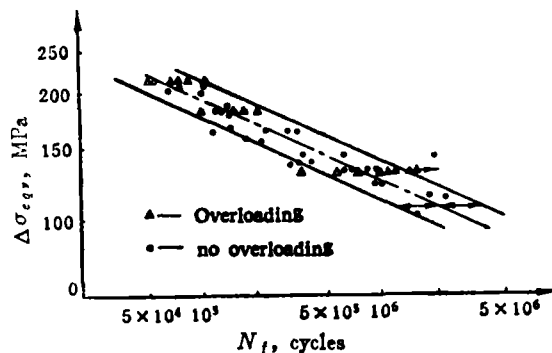


图4 16Mn钢对接接头的疲劳寿命与当量应力幅间的关系

Fig. 4 Correlation between the fatigue life of 16Mn steel butt welds and the equivalent stress amplitude

3 讨 论

3.1 关于残余应力的作用

由于焊趾处的应力集中更为严重,超载在焊趾处引起的残余压应力将远大于表4中列出的数值。因为这些数值是在距焊趾约3 mm处测得的。残余压应力的升高,将要延长疲劳寿命^[1]。按照应力叠加模型,残余压应力升高将降低疲劳应力比 R 和当量应力幅 $\Delta\sigma_{eq}$,从而延长疲劳寿命,见(1)式。但是,本文的试验结果表明,尽管超载提高16Mn钢对接接头处的残余压应力,但对其疲劳寿命无明显的影响。这表明决定16Mn钢对接接头疲劳寿命及其超载效应的主要因素不是超载引起的残余压应力。

文献〔6〕表明,微量预应变和超载对15MnVN钢的疲劳裂纹起始寿命无明显的影响。前已指出,本文实验用的16Mn钢对接接头未观察到焊接裂纹,因而疲劳裂纹起始寿命是疲劳寿命的主要部分^[4]。与15MnVN钢相似,超载可能对16Mn钢对接接头的疲劳裂纹起始寿命无明显的影响,因而对疲劳寿命无明显的影响。

3.2 试验结果的工程实用意义

焊接件大多在变幅载荷下服役,它们承受的名义应力谱中的最大应力,对于后续的较小的名义应力,即为超载^[2]。本文的试验结果表明,超载对16Mn钢对接接头的疲劳寿命无明显的影响,因而在估算16Mn钢对接接头在变幅载荷下的疲劳寿命时,无需考虑载荷谱中大小载荷的交互作用^[2]。因此,可以用在等幅载荷下测定的16Mn钢对接接头的疲劳寿命曲线或表示式和Miner定则,估算变幅载荷下的疲劳寿命。

4 结 论

(1) 超载引起16Mn钢对接接头焊趾附近表面残余压应力升高,但对其疲劳寿命无明显的影响。

(2) 可以认为,对16Mn钢对接接头疲劳寿命及其超载效应起主要影响的因素将不是残余应力。

(3) 在估算16Mn钢对接接头在变幅载荷下的疲劳寿命时,载荷谱中大小载荷的交互作用可不必考虑;可根据Miner定则和等幅载荷下测定的疲劳寿命曲线进行估算。

● 考 文 献

- 1 郑修麟等. 焊接钢梁下翼缘疲劳裂纹起始寿命和扩展寿命的估算. 西北工业大学, 1986.
- 2 郑修麟, 陈德广, 凌超. 疲劳裂纹起始的超载效应及新的寿命估算模型. 西北工业大学学报, 1990, 8(2): 199~208
- 3 May R A, Stuber A and Rolfe S T. Effective Utilization of High-Yield strength Steels in Fatigue. WRC, 1978, (243): 1~26
- 4 Zheng Xiulin and Cui Tianxie. Life Prediction of Butt Welds Containing Welding Defect. Eng. Fract. Mech., 1989, 34 (5/6): 1005~1011

- 5 Zheng Xiulin. Local Strain Range and Fatigue Crack Initiation Life. IABSE Proc. Fatigue Colloquium, Lausanne: 1982, (3): 169~178
- 6 凌超, 郑修麟. 微量预应变和超载对15MnVN钢疲劳裂纹起始寿命的影响. 兵器材料科学和工程, 1990, (3): 7~12

Overloading effect upon fatigue life of 16Mn steel butt welds

Ling Chao and Zheng Xiulin

(Northwestern Polytechnical University, Xi'an)

Abstract In the present study, the effect of tension overloading on the fatigue life of 16Mn steel butt welds and the macro-residual stress in the surface layer near the weld toe was experimentally investigated. Test results and analysis showed that tension overloading has no appreciable effect on the fatigue life of 16Mn steel butt welds although the residual compression stress in the surface layer near weld toe is thus increased. This may suggest that the main factor affecting the said fatigue life and overloading effect is not the macro-residual stress in the surface layer, besides, the engineering applications of the test results were also briefly discussed.

Key words fatigue life; residual stress; overloading