

加载速率对结构钢力学性能和断裂韧度的影响

张 莉， 张玉凤， 霍立兴  
(天津大学 材料科学与工程学院, 天津 300072)



张 莉

摘 要: 在常温下进行了常用建筑结构钢(16Mn 和 Q235B 钢)动态拉伸和动态断裂韧性试验。试验结果表明, 材料在动载下无论是屈服强度还是抗拉强度均有一定的提高, 塑性有了一定的降低; 由于缺口尖端区域温度的升高, 常温下动载对于 16Mn 钢母材和焊缝的断裂韧性是有利的; Q235B 钢常温下, 焊缝的断裂韧性值较低, 且动载对母材的断裂韧性影响较大, 和静载相比动载下断裂韧性值降低了 4 倍有余, 可以看出, Q235B 钢的抗震性能较差。通过研究发现, 对于低韧性水平的材料, 研究动载下结构的断裂行为时, 材料的强度也应该作为一个考虑因素。

关键词: 动载; 断裂韧性; 抗震性能; 断裂行为

中图分类号: TG407 文献标识码: A 文章编号: 0253-360X(2003)01-94-03

0 序 言

地震是危及人类生命和财产安全的最主要的自然灾害之一, 对于建筑钢结构总体结构设计来说, 地震载荷可以看作为静态载荷, 但在选择材料和进行梁-柱节点设计、制造和检验时, 应将地震载荷视为动态载荷<sup>[1]</sup>。调查研究表明, 美国北岭地震和日本阪神地震中钢结构建筑的严重破坏往往是由于焊接梁-柱节点脆断引起的, 因此研究动载下焊接接头的性能和断裂韧性具有重要的意义。文中主要针对常用建筑结构钢 Q235B 和 16Mn, 研究加载速率对接头的力学性能和断裂韧度的影响。

1 试 验

1.1 试件制备

试验采用常用建筑结构用钢 Q235B 和 16Mn 钢板, 厚度分别为 20 mm 和 16 mm。对两种材料的

钢板开双 V 形坡口进行焊接, 其工艺参数见表 1。从焊好的试板中加工紧凑拉伸(CT)试样, 其形状及尺寸如图 1 所示。在焊缝和母材处线切割加工机械缺口, 并按 BS 7448 标准<sup>[2]</sup>开疲劳缺口。

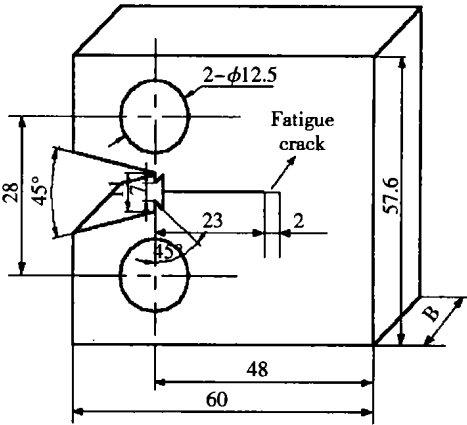


图 1 紧凑拉伸试样(mm)  
Fig. 1 Geometry of compact specimen

表 1 焊接工艺参数  
Table 1 Welding parameter

Material	Layer	Arc voltage U/ V	Welding current I/ A	Type of electrode	Diameter of electrode d/ mm
16Mn	First pass	24 ~ 25	175	E5015	3.2
	other passes	23 ~ 24	220		4.0
Q235B	First pass	25 ~ 26	160	E4303	2.5
	other passes	24 ~ 25	220		3.2

1.2 试验方法

在 Instron1343 电液伺服疲劳试验机上常温下进行动态拉伸和动态 CTOD 试验,母材拉伸试样为标准圆棒型试样,CTOD 试样形状和尺寸如前所述,加载速率分别取 50 mm/s 和 100 mm/s 并且在相同的条件下进行了静载(0.1 mm/s)试验以示对比。

2 试验结果及分析

2.1 拉伸试验结果及分析

两种材料在不同加载速率下的力学性能见表 2。

表 2 不同加载速率下母材的力学性能  
Table 2 Mechanical properties of base metal under different loading rate

Material	Load-point displacement rate $v/(mm\cdot s^{-1})$	Yield strength $\sigma_s/M\ Pa$	Tensile strength $\sigma_b/M\ Pa$	Elongation $\delta_5(\%)$
16Mn	0.1	349.0	489.8	31.3
	50.0	364.2	526.9	28.9
	100.0	367.9	532.2	28.8
Q235	0.1	250.3	416.0	32.5
	50.0	311.9	448.0	30.3
	100.0	314.4	455.6	30.3

从表中数据可以看出,对于 16Mn 和 Q235B 钢来说,在动载下无论是屈服强度还是抗拉强度均有一定的提高,塑性有了一定的降低,但降低的幅度较小。两种材料动载下屈服强度和抗拉强度的增大值如图 2 所示,从图中数据可以看出,两种加载速率下,强度相差不大,但总的趋势为强度随加载速率的增大而提高。两种材料相比较可以发现,Q235B 钢在动载下强度提高的幅度较大,说明和 16Mn 相比,Q235B 对动载更敏感一些。

2.2 断裂韧度试验结果及分析

常温下两种材料焊缝和母材的动态 CTOD 试验结果见表 3。

从表中可以看出,16Mn 钢不管是焊缝还是母材处的 CTOD 值都明显高于 Q235B 钢,说明其断裂韧度值较高。不同加载速率下比较可以发现,随着加载速率的增大,16Mn 钢焊缝和母材的 CTOD 值不断增大,说明常温下动载对 16Mn 钢焊缝和母材的断裂韧度是有利的。这主要是因为动载下,缺口尖端的塑性变形时间较短,不足以进行热传导,集中在缺口尖端的塑性功引起了缺口尖端区域温度的提高,

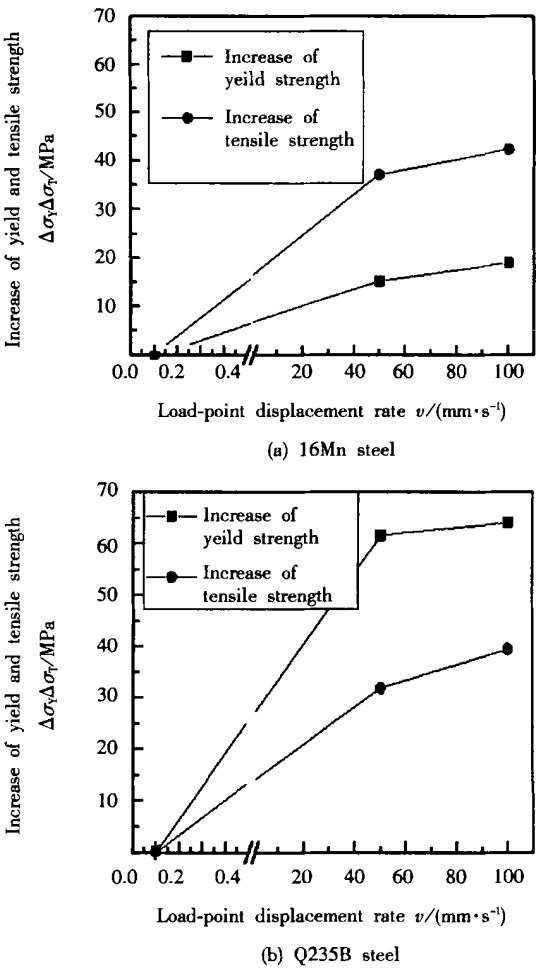


图 2 不同加载速率下屈服强度和抗拉强度的增大值

Fig 2 Increase of yield strength and tensile strength with load-point displacement rate increasing

表 3 常温下动态 CTOD 试验结果  
Table 3 Results of dynamic CTOD tests at room temperature

Material	Zone of notch	Loading rate $v/(mm\cdot s^{-1})$	CTOD value $\delta_w/mm$
16Mn	Weld	100.0	0.894
		50.0	0.849
		0.1	0.800
	Base metal	100.0	0.634
		50.0	0.623
		0.1	0.544
Q235B	Weld	100	0.211
		50.0	0.205
		0.1	0.120
	Base metal	100.0	0.134
		50.0	0.146
		0.1	0.542

这就使得动载下, 16Mn 钢焊缝和母材的断裂韧度得到了提高。

根据文献[ 3], 研究动载下结构的断裂行为, 应该综合考虑缺口尖端应力的提高和温度的升高两个因素的影响, 哪一个因素起支配作用, 主要决定于材料的韧度水平、载荷的应变速率、试验温度、以及应力集中的程度等。对于低韧度的材料, 应力提高的影响为主要因素, 这对于材料的断裂韧度是不利的, 而对于高韧度的材料而言, 温度升高的影响为主要因素, 这对于材料的断裂韧度是有利的。对于 16Mn 钢, 韧度水平较高, 并且通过试验可以看出, 动载对断裂韧度是有利的, 与文献[ 3] 相符。但对于 Q235B 钢来说, 从焊缝和母材的静载数据可以看出, 母材的断裂韧度优于焊缝, 在其它各种因素均相同的情况下, 试验结果与前面文献所述有一定的出入, 说明动载下结构的断裂行为, 受其它因素的影响。从表 2 中拉伸试验数据可以看出, Q235B 钢母材强度较低, 对于应力的提高较敏感, 因而应力的提高占主导地位, E4303 焊条的最小屈服强度为 310 MPa<sup>[4]</sup>, 其强度高于母材, 对于应力的提高不敏感, 因而温度的升高起决定作用, 所以动载对焊缝的断裂韧度是有利的。通过研究表明, 对于低韧度水平的材料, 研究动载下结构的断裂行为时, 材料的强度也应该作为一个考虑因素。

通过表 3 的数据可以看出, Q235B 钢常温下, 焊缝在静载下的断裂韧度值较低; 动载对于母材的断裂韧度影响较大, 加载速率为 100 mm/s 和静载时的载荷  $F$ —裂纹嘴上测得的夹式引伸计张开位移  $V$  曲线如图 3 所示。

从图中可以看出, 动载下试验所得的  $F$ — $V$  曲线与静载下的曲线的类型有所差别, 可以明显地看出动载下最大载荷对应的裂纹嘴张开位移较小。和静载相比, Q235B 钢动载下断裂韧度值降低了 4 倍有余。可以看出, 常用建筑结构用钢 Q235B 的抗震性能较差。

3 结 论

(1) 材料在动载下无论是屈服强度还是抗拉强度均有一定的提高, 塑性有了一定的降低。

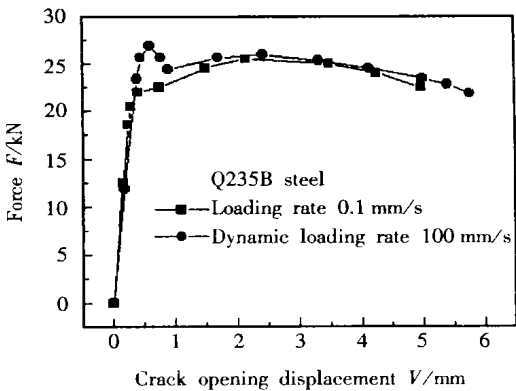


图 3 常温下 Q235B 钢静载和动载下的载荷  $F$ —裂纹嘴张开位移  $V$  曲线  
Fig. 3 Load ( $F$ )— crack opening displacement ( $V$ ) curve of Q235B steel under static and dynamic loading at room temperature

(2) 在常温下, 动载对于 16Mn 钢母材和焊缝的断裂韧度是有利的。

(3) 对于低韧度水平的材料, 研究动载下结构的断裂行为时, 材料的强度也应该作为一个考虑因素。

(4) Q235B 钢常温下, 焊缝的断裂韧度值较低; 而动载对母材的断裂韧度影响较大, 和静载相比动载下断裂韧度值降低了 4 倍有余。通过研究可以看出, 常用建筑结构用钢 Q235B 的抗震性能较差。

参考文献:

[ 1] Campbell H.M modifications to draft 2[ R] . IIW JWG on Fracture Control of Seismically Affected Moment Connections. 2000.  
[ 2] BS 7448: part2; 1997, Method for determination of  $K_{IC}$ , critical CTOD and critical J values of welds in metallic material[ S] .  
[ 3] Masao Toyoda. Effect of strain rate under seismic loading on fracture behaviors of welded structures[ R] . IIW JWG on Brittle Fracture of Welded Moment Connections in Seismically Affected Steel[ R] , 1998.  
[ 4] 王嘉玲. 焊接质量与焊条的使用[ M] . 北京: 国防工业出版社, 1994.

作者简介: 张 莉, 女, 1978 年 8 月出生, 博士研究生。主要从事焊接结构强度及断裂方面的研究。发表论文 4 篇。

Email: k. a. f. zhang @eyou. com