

文章编号: 1000-5013(2009)04-0432-04

HRB500 级高强钢筋高温后的力学性能试验

吴红翠, 王全凤, 徐玉野, 杨勇新, 罗 漪

(华侨大学 土木工程学院, 福建 泉州 362021)

摘要: 对 HRB500 高强钢筋在高温后的力学性能进行试验, 研究不同受火温度对其力学性能的影响, 以及高温后的应力-应变关系曲线图的变化规律, 并提出相应的力学模型. 结果表明, 经历高温作用并冷却后, 高强钢筋的屈服强度、极限强度、弹性模量、延伸率和截面收缩率等力学性能随所经历的温度的不同而变化, 变化规律也不相同. 钢筋的应力-应变关系发生一定的变化, 但是一般仍然出现明显的屈服阶段和强化阶段, 屈服台阶的高度随着温度的升高而降低; 高强钢筋的弹性模量的变化很小.

关键词: 高强钢筋; 高温; 力学性能; 力学模型; 应力-应变

中图分类号: TU 511.3+20.2

文献标识码: A

火灾下, 钢筋的强度和变形性能的变化影响钢筋混凝土结构的受力性能. 随着钢筋混凝土结构火灾行为研究的日益深入, 钢筋的防火性能受到了普遍的关注. 近几年来, 在火灾中所占比例很高的建筑火灾, 其发生的频率有增无减. 火灾过后, 钢筋和混凝土力学性能的劣化, 可能导致火灾后结构的安全性和耐久性不足, 需进行适当的加固处理. 为了准确评估钢筋混凝土结构的防火性能和灾后的损伤程度, 必须掌握钢筋在高温作用后的力学性能变化规律. 余志武等^[1]对新 级钢筋的力学性能进行试验研究, 建立了应力-应变曲线方程. 在此基础上, 本文对 HRB500 高强钢筋在高温后的力学性能进行试验, 分析不同的受火温度对其力学性能的影响.

1 试验概况

1.1 钢筋材料

选用两种具有代表性的 HRB500 级高强钢筋, 其直径规格分别为 10, 16 mm, 试件的长度为 400 mm. 每种规格的试件各取 30 根, 分为 10 组, 每组 3 根.

1.2 仪器设备

整个拉伸试验参照文[2]. 主要仪器有 WDW-200 型 200 kN 微机控制电子万能试验机(最大拉伸行程 600 mm); 电子双侧引伸计(重庆爱腾测试仪器有限公司生产, 最大变形 8 mm, 通过计算机连续采集记录钢筋受拉应力-应变全曲线).

加热装置采用 SX2-15-12 型箱式电阻炉(上海意丰电炉有限公司), 其最高温度可达 1 000 , 加热的炉膛尺寸为 500 mm × 300 mm × 200 mm, 炉膛温度可由配套的电炉温度控制器(控制温度最高可达 1 200)测定, 温度可自动控制, 且达到指定的温度后可自动恒温. 恒温后的温度波动幅度为 $\pm 1 \sim \pm 4$. 恒温的目的在于使整个钢筋试件处于均匀温度场中受热, 使试件内外温度达到一致.

1.3 测试方法

试验的温度变化从室温到 900 , 计有 25(室温), 100, 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900 共 10 级. 将试件放入高温电炉, 加热至预定温度后恒温 60 min; 然后, 取出钢筋试件, 使其在空气中冷却至常温. 最后, 将钢筋试件放置在万能试验机上进行加载, 测定钢筋的各项力学性能指标.

收稿日期: 2008-09-25

通信作者: 王全凤(1945-), 男, 教授, 主要从事结构工程的研究. E-mail: qfwang@hqu.edu.cn.

基金项目: 国家高技术研究发展(863)计划项目(2007AA03G550); 福建省青年科技人才创新项目(2007F3064); 华侨大学科研基金资助项目(07BS405)

2 试验结果及分析

2.1 表观特征

经高温作用并冷却后,钢筋的表面颜色随其经历的温度和受火时间的不同而有所区别,温度较高时,表面还会出现碳化现象.

(1) 最高温度为 100 ,冷却后的试件表面颜色和常温下的基本相同. (2) 最高温度到达 200,300 且恒温 1 h,冷却后的试件表面略呈红色. (3) 最高温度为 400 ,冷却后的试件表面颜色比常温时变浅,呈浅红色,断口呈银色. (4) 最高温度为 500~700 ,冷却后的试件表面颜色加深为铁锈红. (5) 最高温度为 800 ,冷却后的试件表面颜色为红褐色,表面有剥落和碳化,脱落处呈暗黑色;断口为银色,“颈缩”现象很明显;在试件的拉伸过程中,脱落现象很明显,同时伴随有“嘭、嘭”的声音. (6) 最高温度为 900 ,冷却后的试件表面颜色变为铁青色,剥落及碳化更为严重.

以上是钢筋高温冷却后试件表面颜色的变化规律及表面剥落的情况,对判定火灾后结构曾经历的最高温度有一定的参考价值^[3].

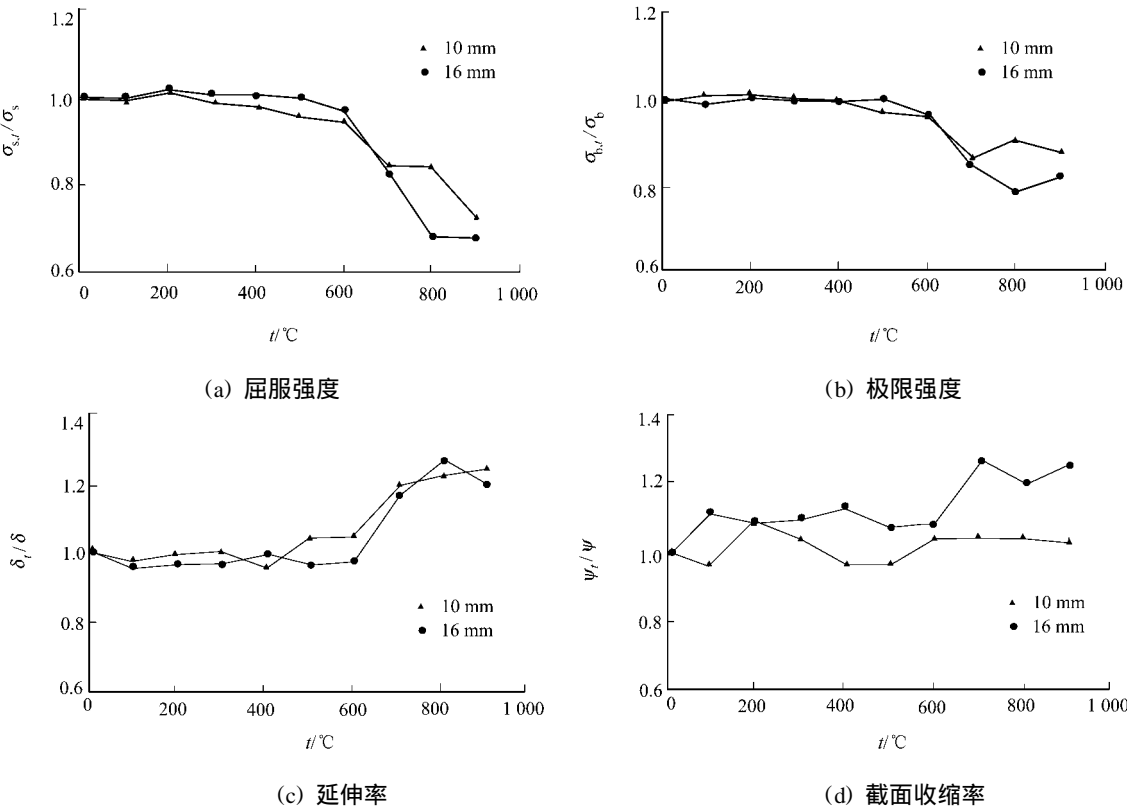
2.2 力学性能指标

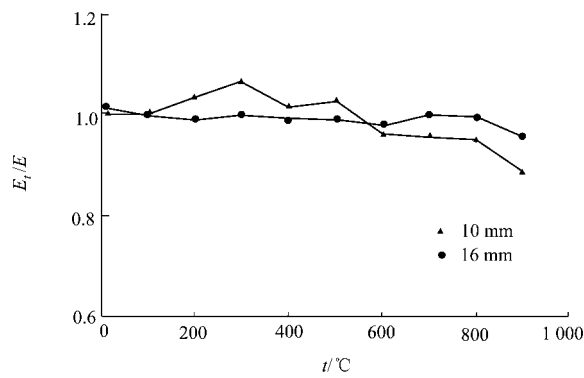
HRB500 级高强钢筋在经历高温作用后,其力学性能发生一定的变化,但变化的程度及变化规律不尽相同,如图 1 所示.

2.2.1 屈服强度 由图 1(a)可知,钢筋的屈服强度在 20~400 范围内变化不大,600 以后逐渐下降,900 时降到最低点.但是,在 800 时,直径为 10 mm 的钢筋,其屈服强度值有所回升.

2.2.2 极限强度 由图 1(b)可知,钢筋极限强度的变化规律的类似于屈服强度,500 以前几乎没有变化,这是由于钢筋的蓝脆现象和应变时效造成的^[4].当温度达到 500 后,极限强度开始下降,直径 16 mm 的钢筋在 800 时降到最小值,而直径 10 mm 的钢筋在 700 时降到最小值.

2.2.3 延伸率 由图 1(c)可知,直径 16 mm 钢筋的延伸率在 20~600 无大变化,600 以后突然增大,800 时达到最大值,较常温时的延伸率增幅达到 25 %左右,900 又有所下降;直径 10 mm 钢筋的延伸率在 20~400 无大变化,500 以后开始上升,900 时达到最大值,较常温时的延伸率增幅达到 25 %左右.





(e) 弹性模量

图 1 钢筋力学性能变化规律

Fig. 1 Variation of mechanics performance of steel bars

2.2.4 截面收缩率 由图 1(d) 可知,经历不同高温后,截面收缩率的变化规律不是很明显. 直径 10 mm 的截面收缩率的变化波动较小,直径 16 mm 的截面收缩率的变化波动相对较大,但总体上呈上升的趋势.

2.2.5 弹性模量 由图 1(e) 可知,高温后钢筋的弹性模量变化规律不是很明显. 经历不同高温后,钢筋的弹性模量值与常温时相关不大. 对于直径 16mm 的钢筋,500 以前几乎没有变化,根据四川消防科学研究所的研究表明^[5],高温后钢筋的弹性模量无明显变化,可取常温时的值;500 以后开始下降;900 时达到最小值,直径 100 mm 的下降了 11 %,而直径 16 mm 只下降了 0.6 %.

2.2.6 应力-应变关系 两种不同直径的钢筋经历不同温度后,其实测的应力-应变的曲线图,如图 2 所示. 从图 2 中可见,直径为 16 mm 的钢筋,温度历程不高于 600 时,冷却后的钢筋的应力-应变曲线与常温下钢筋的应力-应变曲线几乎吻合;温度高于 700 (包括 700)的钢筋,冷却至常温后的受拉应力-应变关系曲线发生明显的变化. 即其条件屈服点、极限强度下降,但弹性模量几乎不随温度历程而变化.

直径为 10 mm 的钢筋,温度历程不高于 200 时,冷却后的钢筋的应力-应变曲线与常温下钢筋的应力-应变曲线几乎重合;温度高于 300 (包括 300)的钢筋,冷却至常温后的受拉应力-应变关系曲线发生明显的变化. 即其条件屈服点、极限强度下降,但弹性模量几乎不随温度历程而变化.

图 2(a), (b) 记录的是钢筋应变不大于 0.14 范围内的应力-应变关系曲线. 由于位移到达该点时,引伸计到达满量程(8 mm),为防止继续加载过程中引伸计损坏,到达该点时取下引伸计,该点以后的变形用位移来代替. 实际钢筋拉断时,应变远大于 0.14. 因此,试验所得到的应力-应变曲线不宜直接应用于结构的抗火分析中,需要对其进行必要的科学化处理.

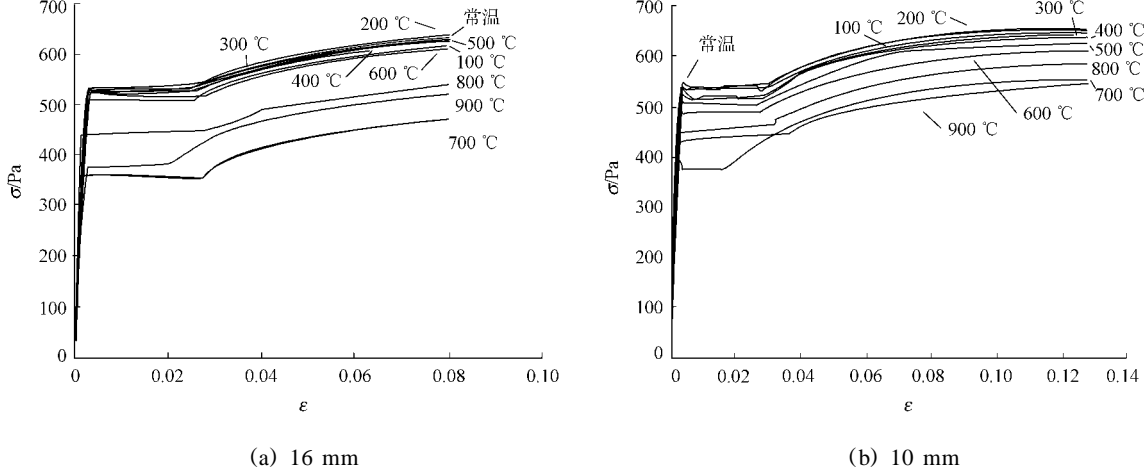


图 2 应力-应变关系曲线

Fig. 2 Stress-strain curves

3 力学模型

经回归分析试验结果,得到高温后高强钢筋屈服强度、极限强度、弹性模量和延伸率的变化模型. 经回归分析试验结果,得到高温后高强钢筋的屈服强度、极限强度、弹性模量和延伸率的变化模型^[6],其表达式分别为

$$s_t/s = 6 \times 10^{-12} t^4 - 1 \times 10^{-8} t^3 + 5 \times 10^{-6} t^2 - 0.0008t + 1.0096, \quad (1)$$

$$b_t/b = 6 \times 10^{-12} t^4 - 1 \times 10^{-8} t^3 + 5 \times 10^{-6} t^2 - 0.0008t + 1.0074, \quad (2)$$

$$E_t/E = -1 \times 10^{-12} t^4 + 2 \times 10^{-9} t^3 - 9 \times 10^{-7} t^2 + 0.0004t + 0.9971, \quad (3)$$

$$\epsilon_t/\epsilon = -7 \times 10^{-12} t^4 + 1 \times 10^{-8} t^3 - 5 \times 10^{-6} t^2 - 0.0006t + 0.9813. \quad (4)$$

式(1)~(4)中, t 为所经历温度; s_t , b_t , E_t , ϵ_t 分别为钢筋经历温度 t 作用后的屈服强度、极限强度、弹性模量和延伸率; s , b , E , ϵ 分别为钢筋经历高温作用前的屈服强度、极限强度、弹性模量和延伸率.

4 结束语

研究 HRB500 级钢筋在经历不同高温作用,并自然冷却至室温后的力学性能. 将高强钢筋在高温后与其在室温下的钢筋力学性能进行对比,结果表明,不同材料在高温作用后的力学性能可能各不相同. 在过火后的剩余承载力计算和损伤评估中,采用相应结构材料的试验结果,才能得到满意的结果. 在进行火灾后混凝土结构安全性鉴定过程中,应考虑火场温度对钢筋强度和延伸率的不利影响,以使鉴定结果更加合理可靠.

参考文献:

- [1] 余志武,王中强,史召锋. 高温后新 级钢筋力学性能的试验研究[J]. 建筑结构学报,2005,26(2):112-116.
- [2] 中华人民共和国质量监督检验检疫总局. GB/T 228-2002 金属材料室温拉伸试验方法[S]. 北京:中国标准出版社,2002.
- [3] 中国建筑科学研究院. JGJ 101-1996 建筑抗震试验方法规程[S]. 北京:中国建筑工业出版社,1997.
- [4] 董毓利. 混凝土结构的火安全设计[M]. 北京:科学出版社,2001.
- [5] 路春森,屈立军,薛武平,等. 建筑结构耐火设计[M]. 北京:中国建材工业出版社,1995.
- [6] 范进,吕志涛. 高温后预应力钢丝性能的试验研究[J]. 工业建筑,2002,32(9):30-31,68.

Experimental Research on Mechanics Performance of HRB500 Grade Steel Bars after High Temperature

WU Hong-cui, WANG Quan-feng, XU Yu-ye,
YANG Yong-xin, LUO Yi

(College of Civil Engineering, Huaqiao University, Quanzhou 362021, China)

Abstract: Based on the mechanical properties tests of HRB500 grade steel bars, the influence of different high temperatures and the variation of stress-strain curves after high temperature are investigated. The mechanical model is obtained. The results of experiments indicate that: mechanical properties of bars cooled down after different high temperatures, such as the yield strength, ultimate strength, elastic modulus and elongation percentage, vary with different high temperatures, and the variation for various properties are also different. Though the stress-strain curves of the bar changes, the yield phase and hardening phase are still notable. The yield strength drops with increasing the temperature, but the variation of the elastic modulus is small.

Keywords: high strength steel bars; high temperature; mechanical performance; mechanical model; stress-strain

(责任编辑: 钱筠 英文审校: 方德平)