

Q345R 模拟受火后拉伸性能的试验研究

左延田 石生芳 浦哲

(上海市特种设备监督检验技术研究院 上海市 200062)

摘要: Q345R 是石化装置中压力容器常用的金属材料, 本文在 Q345R 受火一定时间内, 通过空冷的方式冷却下, 试验研究拉伸性能, 并分析了受火温度、保温时间等对该材料拉伸性能的影响, 得到了 Q345R 在 20°C~816°C 的拉伸性能特性。

关键词: Q345R; 受火; 空冷; 拉伸性能

0 序言

Q345R 是石化装置中压力容器常用的金属材料, 在石化行业中发生的火灾时^[1], Q345R 处于火场周围仅会受热辐射的作用, 火灾后若对火场周围的压力容器进行全部的更换处理, 则耗时长、成本高。比较理想的做法是, 可对受火损伤影响下的 Q345R 进行评级和合于使用评价, 评估压力容器的损伤程度, 预估压力容器的剩余寿命, 判定是否适于继续使用^[2], 则可以大幅度节约经济成本和人力, 并能减少对企业和居民正常生产生活的影响。因此, 选取 Q345R 作为研究对象, 对 Q345R 进行模拟受火损伤的热暴露实验, 通过改变 Q345R 材料的热暴露温度与保温时间两个变量, 模拟受火损伤的不同程度, 同时选取不同的冷却方式获得热暴露试样。通过对模拟受火损伤的 Q345R 进行力学性能测试及微观结构分析, 研究不同热暴露工况条件和不同冷却方式对 Q345R 机械性能的影响。本研究可为开展在火灾工况下 Q345R 压力容器的合于使用评价工程应用提供理论支撑、积累数据基础。限于文章篇幅, 本文仅介绍 Q345R 受火后空冷状态的拉伸性能的变化情况。

1 材料的化学成分

对该试验试样进行化学成分分析, 参照 GB/T 223《钢铁及合金化学分析方法》^[3], 分析结果见表 1, 材料化学成分符合 GB713-2008《锅炉和压力容

器用钢板》[2]中 Q345R 钢的要求。

表 1 Q345R 钢化学成份 (wt%)

材料	C	Si	Mn	P	S
Q345R	0.167	0.334	1.4492	0.011	0.0056

2. 实验方法

将试样分别在 260°C、350°C、427°C、482°C、593°C、649°C、732°C、816°C 马弗炉中模拟受火。在各受火温度下分别保温 5min、15min、30min、60min; 分别采取空冷冷却方式, 冷却到室温。

利用拉伸实验装置在室温中对不同的模拟受火损伤热暴露参数的试样进行机械拉伸性能测试。依据 GB/T 228.1-2010《金属材料 拉伸实验第 1 部分: 拉伸实验方法》^[4]制备拉伸测试试样(图 1), 每组热暴露参数条件下的测试试样数量为 5 个, 并取平均值。

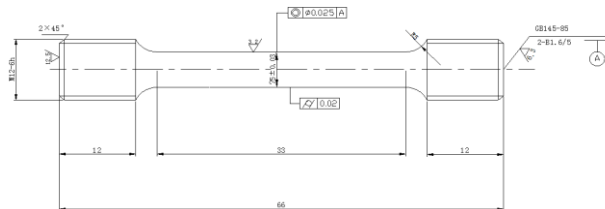


图 1 拉伸试样尺寸

3. 受火拉伸性能的变化

3.1 受火温度对拉伸性能的影响

将试验试样分别在常温下未受火，260℃、350℃、427℃、482℃、593℃、649℃、732℃、816℃下受火。在各受火温度下分别保温 5min、15min、30min、60min，并采取空冷方式冷却到室温。图 2、图 3、图 4、图 5 分别为在 Q345R 屈服强度、抗拉强度、伸长率、断面收缩率随温度变化的曲线图。

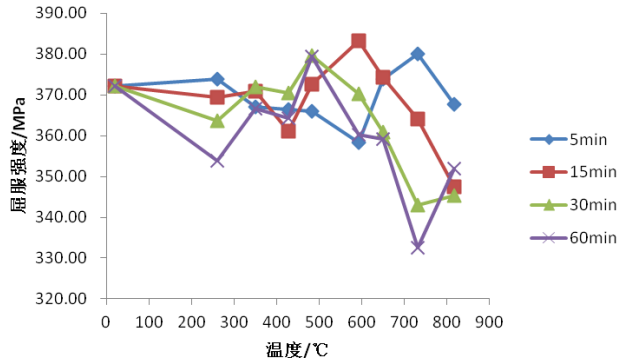


图 2 不同保温时间下屈服强度随温度变化的曲线

图 2 可以得到，在空冷条件下，当受火温度小于 649℃，Q345R 的屈服强度随着温度的升高基本维持在 370MPa 左右，当受火温度在 649℃~816℃，屈服强度随着温度的升高有明显下降的趋势，在 732℃下保温 60min 的屈服强度为 333MPa，与未受火状态时相比下降 10%。值得注意的是，当受火温度在 732℃~816℃，保温时间为 15min、30min、60min 时，屈服强度随着温度的升高有明显增大的趋势。在空冷条件下，Q345R 的屈服强度与 GB 150-2011《压力容器》^[5]中碳素钢和低合金钢钢板许用应力表中的室温屈服强度指标 345MPa 相比，当受火温度为 732℃时，保温时间为 30min、60min 时，试验数据的屈服强度值小于 345MPa，这种情况下屈服强度不满足要求，其他受火、保温条件下，空冷后的常温下的屈服强度均满足标准中对 Q345R 的屈服强度要求。

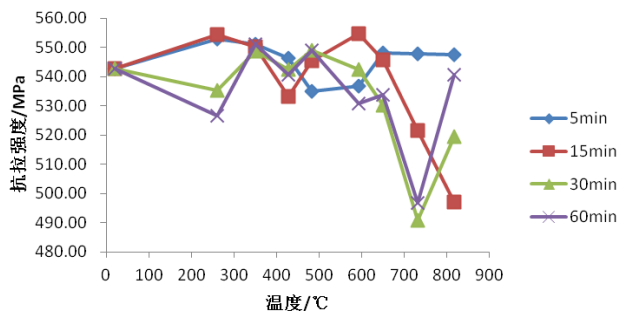


图 3 不同保温时间下抗拉强度随温度变化的曲线

图 3 可以得到，在空冷条件下，当受火温度小于 649℃，Q345R 的抗拉强度随着温度的升高基本维持在 542MPa 左右，当受火温度在 649℃~816℃，随着温度的升高，保温时间为 5min 的抗拉强度有略微减小的趋势，保温时间为 15min 的抗拉强度有大幅下降的趋势，保温时间为 30min 和 60min 的抗拉强度先明显降低又明显增大的趋势，在 732℃下保温 30min 时，抗拉强度与未受火状态时相比下降约 10%。空冷条件下，当受火温度为 732℃时，保温时间为 30min、60min 时的抗拉强度都不满足标准中该材料的抗拉强度要求，当受火温度为 816℃时，保温时间为 5min 的同样不满足要求，其他情况均满足要求。

从数据上，Q345R 的屈服强度与抗拉强度的变化趋势基本上是相一致的。

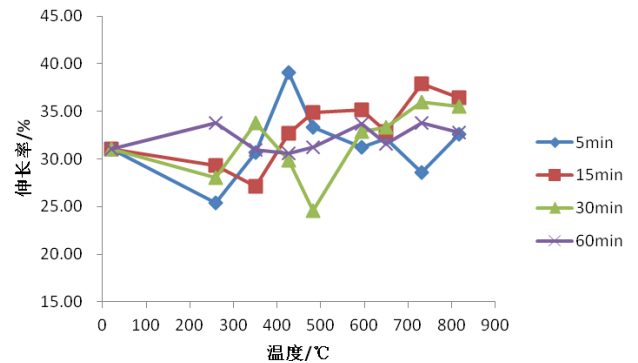


图 4 不同保温时间下伸长率随温度变化的曲线

图 4 可以得到，在空冷条件下，当受火温度小于 260℃，除了保温时间为 60min，Q345R 的伸长率随着温度的升高有下降的趋势，然后随着温度的升高再下降，然后在下降的趋势，总的来说，伸长率波动范围较大，Q345R 的拉伸伸长率随着温度的升高有略微增大的趋势。

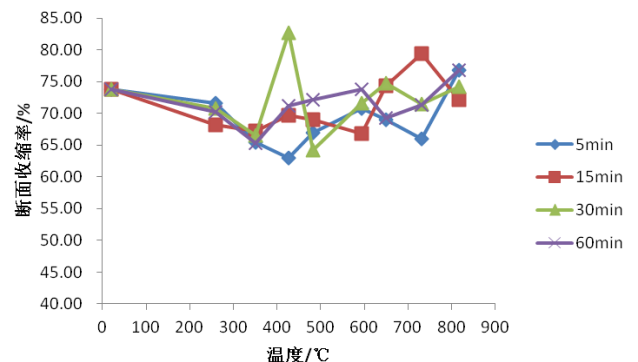


图 5 不同保温时间下断面收缩率随温度变化的曲线

图 5 可以得到, 在空冷条件下, 当受火温度小于 350℃, Q345R 的断面收缩率随着温度的升高有下降的趋势, 与未受火状态相比下降约 11%, 当受火温度在 350℃~816℃, 随着温度的上升, 断面收缩率波动范围较大, 总体上有略微增大的趋势。

3.2 保温时间对拉伸性能的影响

图 6、图 7、图 8、图 9 为材料 Q345R 屈服强度、抗拉强度、伸长率、断面收缩率随保温时间变化的曲线。

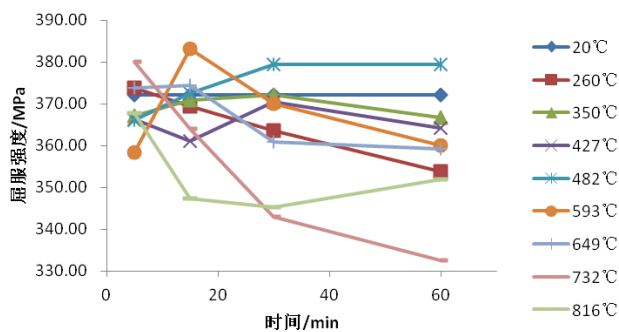


图 6 不同受火温度下屈服强度随保温时间变化的曲线

由图 6 得到, 在空冷条件下, 当受火温度为 260℃、350℃、427℃、482℃、593℃、649℃时, 保温时间为 5min~30min, 屈服强度随保温时间的延长变化范围为 358MPa~383MPa, 保温时间为 30min~60min 时, 屈服强度随保温时间的延长有减小的趋势。当受火温度为 732℃, 屈服强度随保温时间的增加大幅下降, 由保温 5min 的 380MPa 下降至保温 60min 的 333MPa。当受火温度为 816℃, 随着保温时间的增大, 屈服强度先减小后增大, 总体上变化幅度不大, 由保温 5min 的 368MPa 下降至 30min 的 345MPa 再增大至 60min 的 352MPa。在空冷条件下, Q345R 的屈服强度与 GB 150-2011《压力容器》[3]中碳素钢和低合金钢钢板许用应力表中的室温屈服强度指标 345MPa 相比, 当受火温度为 732℃时, 保温时间为 30min、60min 时的屈服强度都不满足标准要求, 其他均满足要求。

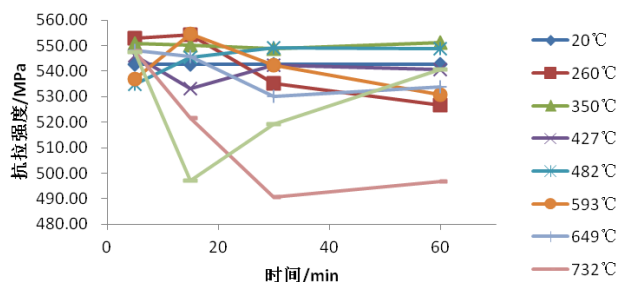


图 7 不同受火温度下抗拉强度随保温时间变化的曲线

由图 7 得到, 在空冷条件下, 当受火温度在 649℃以下, 随着保温时间的延长, 抗拉强度变化幅度较小。当受火温度为 732℃, 抗拉强度呈现先减小后增大的趋势, 保温时间由 5min 增加到 30min, 抗拉强度由 548MPa 下降到 492MPa, 保温时间由 30min 增加到 60min, 抗拉强度由 492MPa 上升到 497MPa。当受火温度为 816℃, 抗拉强度随着保温时间的延长先减小后增大, 保温时间由 5min 增加到 15min, 抗拉强度由 547MPa 下降到 497MPa, 保温时间由 15min 增加到 60min, 抗拉强度由 497MPa 上升到 540MPa。Q345R 的抗拉强度与 GB 150-2011《压力容器》中碳素钢和低合金钢钢板许用应力表中的室温抗拉强度指标 510MPa 相比, 空冷条件下, 当受火温度为 732℃时, 保温时间为 30min、60min 时的抗拉强度都不满足要求, 当受火温度为 816℃时, 保温时间为 5min 的同样不满足要求, 其他均满足要求。

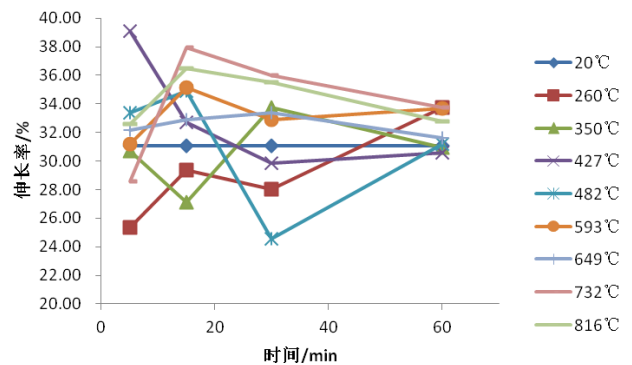


图 8 不同受火温度下伸长率随保温时间变化的曲线

由图 8 得到, 在空冷条件下, 随着保温时间的延长, 伸长率变化较小, 基本维持在 24%~39%之间。

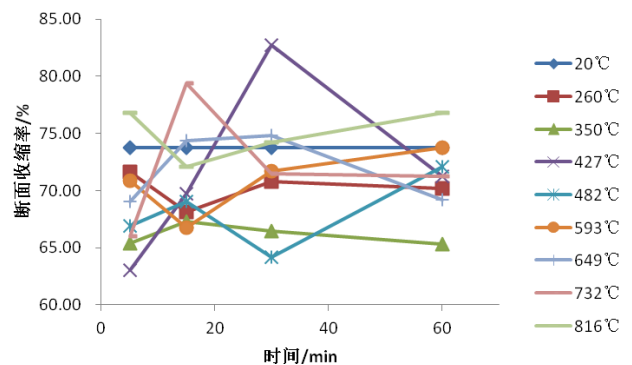


图 9 不同受火温度下断面收缩率随保温时间变化的曲线

由图 9 得到, 在空冷条件下, 当受火温度为 260℃、350℃、482℃、593℃、649℃、732℃、816℃ 时, 断面收缩率随着保温时间的延长变化较小, 基本维持在 64~79%之间。当受火温度为 427℃时, 断面收缩率随保温时间的增大先增大后减小, 保温时间由 5min 增加到 30min, 断面收缩率由 63%上升到 83%, 保温时间由 30min 增加到 60min, 断面收缩率又由 83%下降到 71%。

4. 试验结论

根据 GB 150-2011 和 GB/T 713-2008 中的规定, 对于 Q345R 材料, 材料的屈服强度 R_{el} 不小于 345MPa、抗拉强度 R_m 在 510 MPa ~640 MPa、伸长率(A%)不小于 21:

(1) 在 20℃~816℃的范围内, 在空冷却方式, 不论受热时间, 当温度高于 732℃时, 材料的屈服强度、抗拉强度不满足标准规范要求, 其他情况满足标准规范要求;

(2) 在 20℃~816℃的范围内, 空冷条件下, 不论受热时间, Q345R 材料均满足标准规范中伸长率的要求。

参考文献:

- [1] 王纪兵, 张斌, 张金伟等.受火压力容器的检验与安全评定[J]. 石油化工设备, 2009, 38(2):64-70.
- [2] 陈学东, 杨景标, 范志超等.一种承压设备火灾后的安全评估方法: CN, CN 103278525 A[P]. 2013.
- [3] GB/T 223 钢铁及合金化学分析方法
- [4] GB713-2008 锅炉和压力容器用钢板.北京:中国标准出版社, 2012.
- [5] GB 150-2011 压力容器.北京:中国标准出版社, 2012.

作者简介: 左延田, 男, 1980 年出生, 高级工程师; Email: zuoyantian@126.com。