

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2018.01.009

温度对 PE 燃气管热熔焊接接头性能的影响

范自伟,李俊,李涛,史君林,张学非

(四川理工学院机械工程学院,四川自贡 643000)

摘要:主要研究了聚乙烯(PE)燃气管热熔焊接接头在不同温度下的力学性能,通过不同温度下 PE 材料的拉伸破坏实验,根据不同温度下 PE 燃气管道焊接接头拉伸应力及拉伸应变,利用数值拟合的方法建立了 PE 材料接头的最大应力和断裂伸长率与温度的函数关系。其中卷边的存在容易产生应力集中使管道断裂,无卷边试样断裂伸长率总体高于有卷边试样且温度越高越明显,去除卷边对拉伸强度影响较小,可提高试样的断裂伸长率。温度对 PE 材料的拉伸强度、断裂伸长率影响较大,温度升高,PE 材料的拉伸强度降低,断裂伸长率增加。

关键词:聚乙烯燃气管;热熔接头;温度

中图分类号: TQ322.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2018)01-0036-04

Effect of Temperature on the Polyethylene Gas Pipe Hot Melt Welding Joint

Fan Ziwei, Li Jun, Li Tao, Shi Junlin, Zhang Xuefei

(Department of Mechanical Engineering, Sichuan University of Science & Engineering, Zigong 643000, China)

Abstract : The mechanical properties of the hot melt polyethylene (PE) gas pipe welded joints under different temperature mainly were studied, through the tensile fracture experiment of PE materials under different temperature, According to the tensile stress and tensile strain of welded joints of PE gas pipeline at different temperatures, the relationship between maximum stress and elongation at break of PE material and temperature was established by numerical fitting method. The edge was easy to produce stress concentration makes the pipeline rupture, no edge specimen elongation at break general than had edge and the higher the temperature, the more obvious, remove the edge effect on the tensile strength is lesser, can improve the elongation at break. The temperature has great influence on the tensile strength and elongation at break of PE material, temperature increases, tensile strength of PE material decreases, elongation at break increases.

Keywords : polyethylene gas pipe ; hot melt connection ; temperature

近年来,塑料管因其具有良好的耐腐蚀性、成型加工特性和抗污染性等特点,应用发展极其迅速,逐渐替代了钢管在各方面的应用^[1-2]。聚乙烯(PE)管作为一种绿色环保型塑料管材,综合性能优越,预期使用寿命长(可达 50 年)^[3],在城镇燃气输送、农业灌溉、工业流体运输等领域得到了广泛应用。根据 PHMSAA 的数据,美国塑料管已经占据了全管道总量的 55%,其中 PE 管占据塑料管道的 97%,根据最近的一项经济研究^[4],2016 年我国塑料制品总产量达 7 717 万 t,其中 PE 管 1 435.5 万 t^[5]。

塑料管的焊接是一个重要的部分,由于热熔焊接经济可靠,连接简单快速,已广泛应用于各种规格的 PE 管道焊接^[6-9]。然而,热熔焊接接头性能除了受到焊接工艺、焊接缺陷等影响之外^[10],使用的环境是重要影响因素,其中包括温度、酸碱度、湿度等^[11-13],而温度对热熔焊接接头的影响尤为明显^[14],目前关于温度对接头影响的研究仍然不多。

笔者将相同工艺条件下制作的聚乙烯(PE)热熔焊接接头在不同环境温度下进行拉伸力学性能测试,以探讨不同温度环境下 PE 热熔焊接接头性能

基金项目:四川省高校重点实验室开放基金科研项目(GK201609, GK201706)

通讯作者:李俊,教授,主要从事系统安全可靠保障与智能控制应用研究工作 E-mail: 980423440@qq.com

收稿日期: 2017-11-14

引文格式: 范自伟,李俊,李涛,等. 温度对 PE 燃气管热熔焊接接头性能的影响[J]. 工程塑料应用,2017,46(1):36-39.

Fan Ziwei, Li Jun, Li Tao, et al. Effect of temperature on the polyethylene gas pipe hot melt welding joint[J]. Engineering Plastics Application, 2017, 46(1):36-39.

的变化情况,相关研究对于加强 PE 等塑料管道和容器的在役管理,提高其安全可靠性能具有指导作用。

1 研究方法及实验方案

1.1 原材料

燃气管道:PE,普什集团。

1.2 仪器及设备

微机控制电子万能试验机:CMT5504 型,美特斯工业系统(中国)有限公司;

高温湿热试验箱:PSL-80 型,广东宏展科技有限公司;

微型钻铣床: SX1 型,上海西马特机械制造有限公司。

1.3 试样制备

根据 HG/T 4281-2011 塑料焊接工艺规程制备热熔焊接接头,根据 GB/T 8804.3 通过机械加工方法制备 PE 拉伸标准试样。为保证最终断裂位置出现在焊缝处,笔者对标准试样进行改进,在已得到的标准试样焊缝处制作圆弧(圆弧所在试样平行部分最小间距 6 cm),减小该处截面积,在制作试样过程中用细砂纸对试样进行打磨光滑,减小残余应力和应力集中的影响。笔者对比分析了有卷边和无卷边两种试样,研究了焊缝卷边对性能的影响。

1.4 性能测试

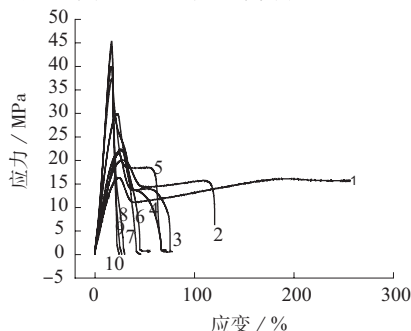
分别在 -15、0、25、45、65℃ 下进行 6 组破坏性拉伸实验,按照 GB/T 8804.1-2003 测试,其中有卷边、无卷边各分 3 组。

2 结果与讨论

2.1 温度对试样力学性能的影响

图 1 是试样不同温度下的工程应力与工程应变

(选择 -15、0、25、45、65℃)。由图 1 可以看出,图 1 中不同温度下试样弹性阶段的斜率不同,随着温度的升高斜率降低,同时屈服应力也逐渐降低,主要是由于温度升高而弹性模量降低。



1—65℃无卷边; 2—65℃有卷边; 3—45℃无卷边; 4—45℃有卷边;
5—25℃无卷边; 6—25℃有卷边; 7—0℃无卷边; 8—0℃有卷边;
9—-15℃无卷边; 10—-15℃有卷边

图 1 试样不同温度下的工程应力与工程应变

对比各曲线不同温度的最大应力值对应的应变位置,发现随着温度的升高最大应力值点对应应变增加。在一定温度区间内试样存在应力恒定应变增加的阶段。最大应力值点和应力恒定阶段之间应力的差值,随温度的升高而减小,下降到应力恒定阶段的应变增加,下降的趋势逐渐减缓,曲线 2、3、5 明显。试样的应变随着温度的增加而增加,导致不同温度下试样的断裂伸长率差距较大。

2.2 卷边对材料力学性能的影响

不同温度下有卷边试样及无卷边试样的拉伸性能如表 2 所示。由表 2 和图 1 对比结合整体工程应力、工程应变可见,无卷边试样 1、2、3 最大应力值

表 2 有卷边、无卷边试样的拉伸强度及断裂伸长率

温度 / °C	无卷边试样						有卷边试样					
	试样 1		试样 2		试样 3		试样 1		试样 2		试样 3	
	拉伸强度 / MPa	断裂伸长率 / %	拉伸强度 / MPa	断裂伸长率 / %	拉伸强度 / MPa	断裂伸长率 / %	拉伸强度 / MPa	断裂伸长率 / %	拉伸强度 / MPa	断裂伸长率 / %	拉伸强度 / MPa	断裂伸长率 / %
-15	47.29	26.94	45.31	26.89	44.79	22.85	41.03	24.48	44.5	24.21	40.85	25
0	39.96	29.8	36.5	27.88	37.37	35.79	34.26	38.9	31.6	31.8	28.83	31.19
25	29.25	68.83	28.89	58.85	27.42	65.14	31.81	58.81	29.93	54.98	32.85	56.87
45	22.6	71.37	21.63	77.71	22.42	75.09	22.72	61.18	24.72	62.41	23.9	70.32
65	16.77	234.8	16.98	220.3	16.34	250.1	17.06	120.7	17.16	116.7	20.1	120.3

注:截面按无卷边截面近似计算,试样除有、无卷边外无差别,各温度有、无卷边试样各取一组其余为平行试

点对应的应变值均低于有卷边试样 1、2、3,说明无卷边试样比有卷边试样更早达到最大应力点,由于试样在去除卷边时,对焊缝部位造成了损伤导致其所能承受的拉应力变小,所以在相同的拉伸速率下无卷边试样比有卷边试样更早达到最大应力点。无卷边试样与有卷边试样的最大应力值对应应变—温度关系图如图 2 所示。

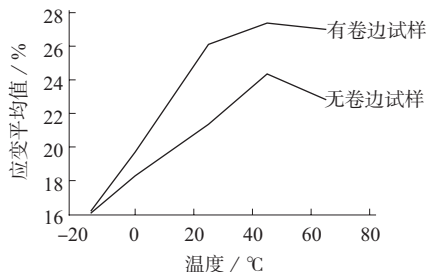


图 2 试样最大应力值对应应变平均值—温度关系图

图3为无卷边试样与有卷边试样的拉伸强度平均值-温度关系图。由图3可见,温度升高,试样的拉伸强度下降。 $-15\sim 0^{\circ}\text{C}$ 区间,有卷边试样拉伸强度平均值均低于无卷边试样拉伸强度平均值(温度较低试样存在脆性断裂), $0\sim 65^{\circ}\text{C}$ 区间,有卷边试样拉伸强度平均值高于无卷边试样的拉伸强度平均值。分析原因为较低温度试样存在脆性断裂,卷边的存在产生应力集中导致拉伸强度变小。有无卷边总体拉伸强度差值较小。

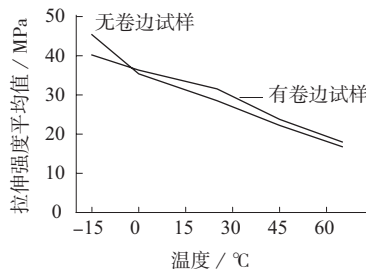


图3 试样拉伸强度平均值-温度关系图

图4为断裂伸长率平均值-温度关系图。由图4可见,无卷边试样的断裂伸长率平均值大于有卷边试样的平均值。主要原因是卷边与管壁之间的连接处为凹槽尖端,形成应力集中,拉伸过程中产生裂纹,随着拉伸的继续进行,裂纹扩大导致试样被拉断,而去除卷边对断裂伸长率的提高有明显的效果。

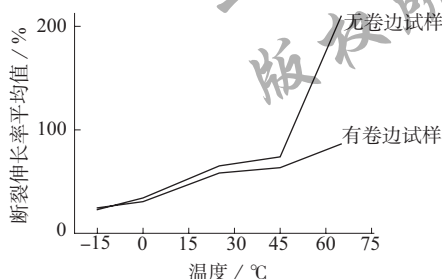


图4 试样断裂伸长率平均值-温度关系图

3 热熔焊接接头性能温度影响预测模型研究

拉伸强度、断裂伸长率和温度具有一定函数关系,故利用MATLAB软件建立温度为自变量,拉伸强度与断裂伸长率分别为因变量的预测模型(通过拟合曲线建立方程)如下。

3.1 温度-拉伸强度关系

有卷边试样温度-拉伸强度关系的拟合曲线见图5。其关系式如式(1)所示。

$$y = -0.277x + 36.623 \quad (1)$$

无卷边试样温度-拉伸强度关系拟合曲线见图6。其关系式如式(2)所示。

$$y = -0.34x + 37.825 \quad (2)$$

3.2 温度-断裂伸长率关系

有卷边试样温度-断裂伸长率拟合曲线见图7。

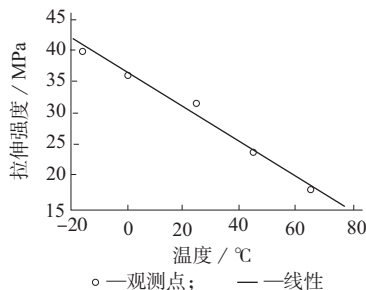


图5 有卷边试样温度-拉伸强度拟合曲线

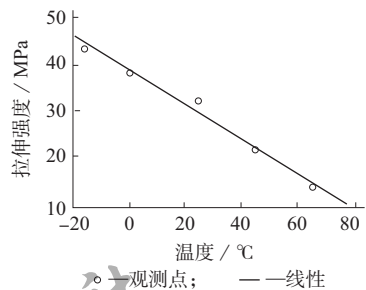


图6 无卷边试样温度-拉伸强度拟合曲线

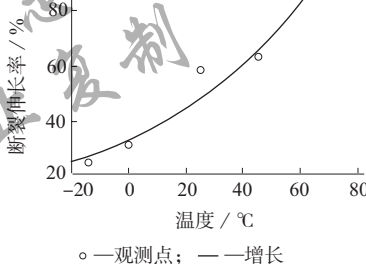


图7 有卷边试样温度-断裂伸长率拟合曲线

其关系如式(3)所示。

$$y = e^{0.016x + 3.475} \quad (3)$$

无卷边试样温度-断裂伸长率关系见图8。其关系式如式(4)所示。

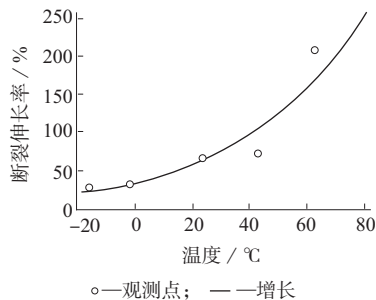


图8 无卷边试样温度-断裂伸长率拟合曲线

$$y = e^{0.024x + 3.557} \quad (4)$$

比较有卷边试样和无卷边试样拉伸强度模型,两模型的变化系数差别较小,说明温度对有卷边试样和无卷边试样的影响相同,影响拉伸强度的因素主要是温度。有卷边和无卷边断裂伸长率模型拟合曲线斜率存在差异,说明在温度相同时卷边的存在对断裂伸长率有一定影响,温度越低存在脆性断裂

影响较小,温度越高对卷边应力集中的影响越明显。

为验证预测模型是否正确,能否用于对不同温度下的热熔焊接性能预测,采取通过对试验温度外的热熔焊接接头进行试验,得到试样的拉伸强度和断裂伸长率同模型计算值进行比较。预测误差具体数值如表3所示。由表3可见,模型预测值与实验值之间的误差基本控制在5%以内,综合各方面的原因以及试验本身存在的误差,误差控制在5%以内说明预测模型是正确可用的,能够通过预测模型对热熔焊接接头在不同的温度下的性能进行预测。

表3 预测模型误差范围

项目	温度/℃									
	-10		10		20		30		50	
	有卷	无卷	有卷	无卷	有卷	无卷	有卷	无卷	有卷	无卷
拉伸强度	3.48	2.56	3.46	2.72	4.51	2.68	4.43	2.81	3.75	2.47
误差/%										
断裂伸	3.41	2.98	3.34	2.86	3.79	3.04	4.15	3.24	4.14	3.02
长率误										
差/%										

4 结论

笔者基于热熔焊接接头拉伸力学性能实验并利用高低温箱模拟不同实验温度环境,评价了不同温度下有卷边接头试样和无卷边接头试样的拉伸性能,并通过对比有卷边、无卷边拉伸实验数据分析探讨了存在卷边时,卷边对拉伸性能存在的影响。最后利用不同温度的拉伸实验数据建立了不同温度下PE管最大拉伸应力和断裂伸长率的预测模型。得到了以下结论:

(1) 温度对PE燃气管焊缝的拉伸强度、断裂伸长率有很大影响,温度升高,拉伸强度降低,断裂伸长率增加。

(2) 卷边的存在容易产生应力集中使管道断裂,所以无卷边试样的断裂伸长率总体高于有卷边试样且温度越高越明显,去除卷边对拉伸强度影响不大,但能提高断裂伸长率。

(3) 通过建立的温度和断裂伸长率与拉伸强度的预测模型,可以实现不同环境温度下聚乙烯管材的性能的近似预测。

参考文献

- [1] Greig J M. Specification and testing of polyethylene gas distribution systems for a minimum 50-year operational life[J]. *Plastics and Rubber Processing and Applications*, 1981, 1(1):43-49.
- [2] Stephen B, Walsh T, Dean S W. Long-term hydrostatic strength and design of thermoplastic piping compounds[J]. *Journal of ASTM International*, 2011, 8(9):57-72.
- [3] Ahmad S, Mohammed H, Shah J, et al. The influence of ziegler-natta and metallocene catalysts on polyolefin structure properties and processing ability[J]. *Materials*, 2014, 7(7):5 069-5 108.

- [4] 林少全,吴春晖.美国塑料管道发展之道[J].*国外塑料*,2006,9:22-25.
Lin Shaoquan, Wu Chunhui. The development of American plastic pipeline[J]. *Foreign Plastics*, 2006, 9:22-25.
- [5] 北京塑料工业协会.中国塑料管道市场分析报告——钢增强塑料管道市场前景[J].*塑料工业*,2011(11):118-147.
Beijing Plastics Industry Association. China plastic pipeline market analysis report-market prospect of steel reinforced plastic pipeline[J]. *Plastics Industry*, 2011(11):118-147.
- [6] 郑伟义,陈国龙,陈志刚.塑料焊接技术[M].北京:化学工业出版社,2015.
Zheng Weiyl, Chen Guolong, Chen Zhigang. Plastic welding technology[M]. Beijing:Chemical Industry Press, 2015.
- [7] 郑津洋,秦永泉,施建峰.聚乙烯管道热熔接头卷边对拉伸性能的影响[J].*中国塑料*,2009(7):77-80.
Zheng Jinyang, Qin Yongquan, Shi Jianfeng. The influence of the edge of a polyethylene pipe hot melt joint on tensile properties[J]. *China Plastic*, 2009(7):77-80.
- [8] 辛明亮,李茂东,张木宽,等.聚乙烯燃气管道失效模式研究进展[J].*中国塑料*,2015,29(3):16-20.
Xin Mingliang, Li Maodong, Zhang Shukuan, et al. Research progress of the failure mode of polyethylene gas pipeline[J]. *China Plastic*, 2015, 29(3):16-20.
- [9] 阎文.含工艺缺陷PE管道热熔焊接接头失效机理分析[D].哈尔滨:哈尔滨理工大学,2015.
Min Wen. Analysis of failure mechanism of hot-melt welding joints of PE pipeline with process defects[D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2015.
- [10] 黄学斌,伏喜斌,徐火力,等.聚乙烯管道热熔对接焊接头冷拉伸性能研究[J].*机械制造文摘-焊接分册*,2015(2):1-4.
Huang Xuebin, Fu Xibin, Xu Huoli, et al. Research on the cold tensile properties of welding head for thermal fusion of polyethylene pipe[J]. *Welding Digest of Machinery Manufacturing*, 2015(2):1-4.
- [11] 秦永泉.含工艺缺陷聚乙烯管道热熔焊接接头力学性能试验研究[D].杭州:浙江大学,2010.
Qin Yongquan. Mechanical properties test of hot melt joints of polyethylene pipe with process defects[D]. Hangzhou:Zhejiang University, 2010.
- [12] 罗艺,姜稳庄.聚乙烯燃气管道接口的质量控制[J].*城市燃气*, 2004, 11:3-6.
Luo Yi, Jiang Wenzhuang. Quality control of polyethylene gas pipeline interface[J]. *Urban Gas*, 2004, 11:3-6.
- [13] 周维祥.塑料测试技术[M].北京:化学工业出版社,1999.
Zhou Weixiang. Plastic test technology[M]. Beijing:Chemical Industry Press, 1999.
- [14] 徐成,徐平,施建峰,等.聚乙烯管韧性破坏寿命预测方法研究[J].*压力容器*,2012,29(1):1-6.
Xu Cheng, Xu Ping, Shi Jianfeng, et al. Study on the prediction method of durability of ductile failure of polyethylene[J]. *Pressure Vessel*, 2012, 29(1):1-6.