

超高压容器用钢 AISI4340 的包辛格系数

刘兵¹,袁小会¹,刘岑²,吴元祥¹,张红卫¹,刘小宁¹

(1. 武汉软件工程职业学院机械工程系, 湖北 武汉 430205;

2. 武汉工程大学机电工程学院, 湖北 武汉 430074)

摘要:提出按单层超高压自增强容器塑性层预应力实测值确定钢材包辛格系数的方法;基于试验数据,分析了超高压容器用钢 AISI4340 的包辛格系数. 研究表明:(1) AISI4340 的包辛格系数是一个常数,其大小与塑性层的位置和容器自增强压力的大小无关.(2) AISI4340 钢包辛格系数的平均值为 0.967 1.(3) 2 项工程实例验证文中方法的合理性.

关键词:超高压容器; AISI4340 钢; 包辛格系数

中图分类号: TH49

文献标识码: A

doi:10.3969/j.issn.1674-2869.2010.11.026

0 引言

为提高单层超高压容器疲劳强度,降低其在操作时的应力水平,对单层超高压容器进行自增强处理,获得有用的预应力是有效的方法;由于超高压容器常用材料的压缩和拉伸屈服应力不一致,对自增强预应力的影响很大,文献[1]认为可用包辛格系数考虑这种影响,文献[2]认为,如无试验数据取包辛格系数为 0.86.

文中提出按单层超高压自增强容器^[3]塑性层预应力实测值确定钢材包辛格系数的方法,基于试验数据,对超高压容器常用钢材 AISI4340 的包辛格系数 3 进行探讨.

1 理论分析

假定超高压自增强圆筒塑性层服从用包辛格系数修正的 Mises 屈服准则,即

$$\sigma_r - \sigma_t = \frac{2}{\sqrt{3}} m \sigma_s \quad (1)$$

式(1)中, σ_t 、 σ_r 分别为塑性层的周向与径向应力, MPa; m 为包辛格系数, $m = \sigma_{sy}/\sigma_s$; σ_{sy} 、 σ_s 分别为材料的压缩和拉伸屈服应力, MPa.

单层超高压自增强圆筒塑性层的周向和径向预应力的计算值分别为^[1]:

$$\sigma_t = \frac{2}{\sqrt{3}} m \sigma_s \left(\ln \frac{r}{r_i} + 1 \right) - \frac{p_a}{K^2 - 1} \left(K^2 + \frac{r_0^2}{r^2} \right) \quad (2)$$

$$\sigma_r = \frac{2}{\sqrt{3}} m \sigma_s \ln \frac{r}{r_i} - \frac{p_a}{K^2 - 1} \left(K^2 - \frac{r_0^2}{r^2} \right) \quad (3)$$

式中, r_i 、 r_0 分别为圆筒的内、外半径, mm; r 为塑性层任一点半径, mm; K 为径比, $K = r_0/r_i$; p_a 为实际自增强压力, MPa.

当测得超高压自增强圆筒的塑性层周向预应力 σ_{ti} 或径向预应力 σ_{ri} 时,由式(2)、(3)可得包辛格系数的计算式

$$m = \frac{\sigma_{ti} + \frac{p_a}{K^2 - 1} \left(K^2 + \frac{r_0^2}{r^2} \right)}{\frac{2}{\sqrt{3}} \sigma_s \left(\ln \frac{r}{r_i} + 1 \right)} \quad (4)$$

$$m = \frac{\sigma_{ri} + \frac{p_a}{K^2 - 1} \left(K^2 - \frac{r_0^2}{r^2} \right)}{\frac{2}{\sqrt{3}} \sigma_s \ln \frac{r}{r_i}} \quad (5)$$

自增强圆筒的疲劳强度是由剪应力强度决定的,对于单层超高压圆筒,从其在操作时有最小剪应力强度的角度出发,不难得到其在最佳自增强时的弹塑性交界面半径^[1,4-5]:

$$r_{opt} = r_i \times \exp \left[\frac{\sqrt{3} E (p_i - p_1)}{2 m E_t \sigma_s} \right] = r_i \times \exp \left[\frac{\sqrt{3} (p_i - p_1)}{2 m \sigma_s^t} \right] \quad (6)$$

式(6)中, r_{opt} 为在最佳自增强时的弹塑性半径的计算值, mm; p_i 为操作内压, MPa; E 、 E_t 分别为 AISI4340 钢在常温与操作温度下的弹性模量,

收稿日期:2010-08-26

基金项目:武汉市教育局重点科研项目(2009025);武汉市创新人才开发资金重大创新专项资助

作者简介:刘兵(1976-),男,湖北仙桃人,讲师,硕士.研究方向:模具设计.*通信联系人

MPa; σ_{si} 为 AISI4340 钢在操作温度下的拉伸屈服应力, MPa, $\sigma_{si} = \sigma_s E_i / E$; p_i 为当量热压力, MPa, p_i 按式(7)计算:

$$p_i = \frac{E_i \alpha_i (t_i - t_o)}{2(1 - \mu)} \quad (7)$$

式(7)中, t_i 、 t_o 分别为在操作时圆筒的内、外壁温度, $^{\circ}\text{C}$; α_i 为操作温度时圆筒材料的线膨胀系数, $1/^{\circ}\text{C}$; μ 为圆筒材料的泊桑系数, $\mu = 0.30$ 。

2 AISI4340 钢的包辛格系数

文献[6]用 AISI4340 钢制超高压圆筒进行自增强试验, 探索恢复超高压聚乙烯反应器自增强预应力的方法; 试验条件: AISI4340 钢拉伸屈服应力 $\sigma_s = 944.4$ MPa; 圆筒内直径 $\Phi 34.7$, 外直径 $\Phi 79.8$, 径比 $K = 2.30$; 圆筒塑性层周向和径向预应力的实测值 σ_{ti} 和 σ_{ri} 如表 1 与表 2 所示。

表 1 σ_{ti} 的实测值

Table 1 Tests value of σ_{ti}

序号	p_a/MPa	r/mm			
		17.35	19.00	21.00	23.00
1	662.0	-572.5	-324.5	-107.5	69.8
2	667.5	-587.0	-346.2	-124.4	74.0
3	680.0	-623.7	-372.2	-153.2	43.3
4	700.0	-664.2	-451.5	-236.6	-1.0

表 2 σ_{ri} 的实测值

Table 2 Tests value of σ_{ri}

序号	p_a/MPa	r/mm		
		19.00	21.00	23.00
1	662.0	-40.2	-59.0	-56.1
2	667.5	-41.0	-59.6	-57.8
3	680.0	-43.8	-66.5	-65.7
4	700.0	-47.9	-73.3	-75.7

把表 1 中的有关数据代入式(4)中可得按塑性层周向预应力实测值确定的包辛格系数, 如表 3 所示。

把表 2 中的有关数据代入式(5)中可得按塑性层径向预应力实测值确定的包辛格系数, 如表 4 所示。

表 3 按 σ_{ti} 确定 AISI4340 的包辛格系数

Table 3 Bauschinger coefficient of AISI4340 steel according to σ_{ti}

序号	r/mm				m_1
	17.35	19.00	21.00	23.00	
1	0.972 1	0.985 5	0.974 7	0.966 1	0.974 6
2	0.971 3	0.977 7	0.970 5	0.976 7	0.974 1
3	0.965 9	0.979 6	0.968 3	0.972 0	0.971 5
4	0.974 0	0.951 0	0.936 0	0.968 0	0.957 3
m 的平均值	0.970 8	0.973 5	0.962 4	0.970 7	

注: m_1 是在同一试验条件下, 不同塑性层位置计算所得包辛格系数平均值;

m_2 是在不同试验条件下, 同一塑性层位置计算所得包辛格系数平均值。

由表 3 和表 4 可知: (1) 包辛格系数基本上不受自增强压力大小的影响; (2) 包辛格系数的大小与塑性层的位置无关; (3) 用 σ_{ti} 与 σ_{ri} 确定包辛格系数无显著差异; (4) 由表 3、表 4 得 AISI4340 钢包辛格系数的平均值为 0.967 1。

表 4 按 σ_{ri} 确定 AISI4340 的包辛格系数

Table 4 Bauschinger coefficient of AISI4340 steel according to σ_{ri}

序号	r/mm			m_1
	19.00	21.00	23.00	
1	0.964 9	0.961 7	0.962 3	0.963 0
2	0.968 3	0.969 2	0.966 2	0.967 9
3	0.965 0	0.959 6	0.962 2	0.962 6
4	0.965 9	0.964 5	0.964 2	0.964 9
m 的平均值	0.966 3	0.963 8	0.963 4	

注: m_1 是在同一试验条件下, 不同塑性层位置计算所得包辛格系数平均值;

m_2 是在不同试验条件下, 同一塑性层位置计算所得包辛格系数平均值。

3 工程实例验证

超高压聚乙烯反应器是典型的单层超高压容器, 也是生产低密度聚乙烯的关键设备, 由于其操作条件苛刻, 常常对其进行自增强处理。

我国某石化企业从国外引进的超高压聚乙烯反应器条件如下^[4]: 第一反应器规格为 $\Phi 62 \times 27 \times 8\ 000$ (外直径 \times 内直径 \times 长度, mm), 原设计者采用自增强弹-塑性交界面半径 18.05 mm; 第二反应器规格为 $\Phi 78 \times 34 \times 8\ 000$, 原设计者采用自增强弹塑性交界面半径 22.72 mm。

反应器设计温度 $120\ ^{\circ}\text{C}$, 正常操作时的内、外壁温差为 $15\ ^{\circ}\text{C}$, 设计压力 294.4 MPa, 材质 AISI4340, $\sigma_s^r = 794.6$ MPa, $E_i = 1.84 \times 10^5$ MPa, $\alpha_i = 16.93 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 。

当量热压力由式(7)计算:

$$p_i = \frac{1.84 \times 10^5 \times 16.93 \times 10^{-6} \times 15}{2(1 - 0.3)} = 33.4 \text{ MPa}$$

当采用文中包辛格系数 0.967 1 及式(6)计算最佳自增强时的弹-塑性交界面半径时, 由于 $p_i - p_i = 261.0$ MPa, 对于第一反应器有

$$r_{m1} = 13.5 \times \exp\left(\frac{\sqrt{3} \times 261.0}{2 \times 0.967 1 \times 794.6}\right) = 18.12 \text{ mm}$$

相对误差: $(18.12 - 18.05)/18.05 \times 100\% = 0.41\%$ 。

对于第二反应器有

$$r_{m2} = 17 \times \exp\left(\frac{\sqrt{3} \times 261.0}{2 \times 0.967 1 \times 794.6}\right) = 22.81 \text{ mm}$$

相对误差: $\frac{22.81 - 22.72}{22.72} \times 100\% = 0.40\%$

因此,用上述方法计算 AISI4340 钢制超高压容器最佳自增强时的弹-塑性交界面半径是合理的.

4 结 语

超高压容器用钢 AISI4340 的包辛格系数是一个常数,其大小与塑性层的位置和容器自增强压力的大小无关. AISI4340 钢包辛格系数的平均值为 0.967 1. 工程实例验证表明,用文中方法计算 AISI4340 钢制超高压容器最佳自增强时的弹-塑性交界面半径是合理的.

参考文献:

[1] 邵国华,魏龙灿.超高压容器[M].北京:化学工业

出版社,2002.

- [2] [日] HPIS-C-103-1980.超高压圆筒容器设计指针[S].
- [3] 蔡洪涛.压力容器法兰的参数化绘制方法[J].武汉大学学报,2010,32(9):86-89.
- [4] 华南工学院高压容器研究室.自增强容器最佳超应变的实验研究[J].压力容器,1984,1(2):17-24.
- [5] 刘小宁.超高压管式反应器的最佳弹性-塑性交界面半径[J].化工设计,2006,16(5):29-30,42.
- [6] 陈进锋,陈国理.恢复超高压聚乙烯反应管自增强残余应力[J].石油化工设备,1987,16(9):23-27.

Bauschinger coefficient of AISI4340 steel for super-high pressure vessel

LIU Bing¹, YUAN Xiao-hui¹, LIU Cen², WU Yuan-xiang¹, ZHANG Hong-wei¹, LIU Xiao-ning¹

(1. Department of Mechanical Manufacture Engineering, Wuhan Polytechnic College of Software and Engineering, Wuhan 430205, China;

2. School of Mechanical & Electrical Engineering, Wuhan Institute of Technology, Wuhan 430074, China)

Abstract: The method of determining the steel bauschinger coefficient was proposed according to the plastic level pre-stressed actual value of single-layer super-high pressure autofrettage vessel. The bauschinger coefficient of AISI4340 steel for the super-high pressure vessel was analyzed based on the test data. The research results show that: (1) The AISI4340 bauschinger coefficient is a constant, and the value has nothing to do with the plastic level position and the autofrettage pressure size. (2) The bauschinger coefficient mean value of AISI4340 is equal to 0.967 1. (3) The rationality of the method is proved using two project examples.

Key words: super-high pressure vessel; AISI4340 steel; bauschinger coefficient

本文编辑:陈小平

☆

(上接第 93 页)

Model of software process decomposition method

ZHUANG Yun¹, LI Hui²

(1. School of Environmental and Civil Engineering, Wuhan Institute of Technology, Wuhan 430074, China;

2. School of Computer, Wuhan University, Wuhan 430072, China)

Abstract: In this article, we built on software process module M rule of decomposition method, this method as a decomposition method M model, called a matrix, expressed as $A = [w, l]$. This mode is a recursive procedure to M ; theoretical analysis and actual binding in one, as it's recursive expansion process to form a valid conditions, generate optimized computing M prototype Pri-cTr.

Key words: decomposition model; computing prototype; complexity; set of computing prototype

本文编辑:陈小平