

文章编号:1007-6492(2001)03-0092-03

常温奥氏体不锈钢容器的超压强化处理研究

王亚辉¹, 王学生¹, 王定标¹, 郭茶秀¹, 李静²

(1. 郑州大学化学工程学院, 河南 郑州 450002; 2. 河南省化工学校, 河南 郑州 450042)

摘 要: 对不锈钢容器进行超压强化处理, 以提高其屈服极限及设计许用应力, 可达到减少容器壁厚、降低不锈钢耗量的目的。根据奥氏体不锈钢材料的拉伸曲线及线性强化材料模型, 回归出一种奥氏体不锈钢塑性强化段的应力-应变本构关系式, 并利用薄膜理论, 推导出常温奥氏体不锈钢容器的超压强化处理压力的计算公式。实验结果与理论计算值吻合较好, 为不锈钢容器提供了一种实用可行的设计方法。

关键词: 奥氏体不锈钢; 材料强化; 压力容器

中图分类号: TG 33 **文献标识码:** A

0 引言

奥氏体不锈钢具有良好的抗腐蚀性能, 在与很多化学介质接触中, 性能长期保持稳定, 是石油化工、动力及轻工等工业部门许多设备经常且必须选用的钢材。

目前, 我国镍、铬资源较缺, 不锈钢产量与国外工业发达国家相比差距甚大。我国不锈钢产量占钢总产量的 0.4% ~ 0.7%, 而美国、日本等工业发达国家的不锈钢产量占钢产量的 2.0% ~ 2.5%^[1]。为满足国民经济建设的需要, 每年需从国外进口相当数量的不锈钢材料, 这已成为我国工业生产中的一个薄弱环节。因此在满足相同工艺及工况要求条件下, 少用或节约使用不锈钢材料具有重大的经济意义。

奥氏体不锈钢具有较高的抗拉强度和极高的塑性指标, 材料本身具有较大的冷加工潜力, 因此通过超压强化处理, 以提高其屈服极限及设计许用应力, 可达到减少容器壁厚、降低不锈钢耗量的目的。另外, 强化以后的奥氏体不锈钢压力容器, 不但其抗腐蚀能力不变, 同时内部焊接残余应力亦得到有效的消除^[2]。

1 奥氏体不锈钢的材料模型简化

奥氏体不锈钢的拉伸曲线与普通碳钢的拉伸

曲线有所不同, 在接近塑性变形时其斜率是连续变化的, 且无连续点或转折点, 拉伸曲线无明显屈服平台, 因此一般认为当塑性变形为 $\epsilon = 0.2\%$ 时, 所对应的应力为屈服极限 $\sigma_{0.2}$ 或 σ_s 。实验数据证明, 奥氏体不锈钢材料到达屈服后的应力-应变本构关系在达到强度极限以前可简化为符合线性弹性强化材料模型规律, 其解析表达式为 $\sigma = \sigma_{0.2} + E'\epsilon$ 。如图 1 所示。

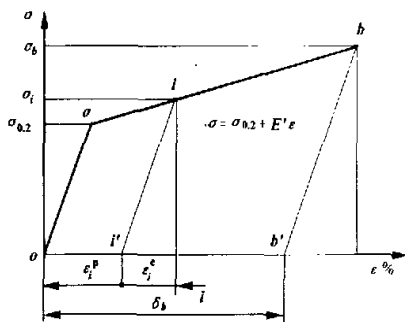


图 1 奥氏体不锈钢材料模型

Fig. 1 Material model of austenitic stainless steel

图 1 所示的奥氏体不锈钢材料的线性弹性强化模型曲线, 在 oa 段应力与应变关系符合虎克定律 $\sigma = E\epsilon$ 。当拉伸曲线中应变到达 ϵ_i , 在曲线上对应 i 点然后卸载, 应力应变关系沿斜直线 ii' 回到 i' 点。斜直线 ii' 近似平行直线 oa 。这说明在卸载过程中, 应力和应变按直线规律变化。在 i 点的应变

收稿日期: 2001-04-20; 修订日期: 2001-05-25

基金项目: 国家“九五”科技攻关项目 (95-918-02-03)

作者简介: 王亚辉 (1970-), 男, 河南省偃师市人, 郑州大学助理工程师, 主要从事化工工艺与装备方面的工作。

ϵ_i 包含弹性应变 ϵ_i^e 及塑性应变 ϵ_i^p 。再次加载过程中,在达到 i 点以前,材料的变形是弹性的,过 i 点后才开始出现塑性变形,由此提高了材料的弹性极限。通过对材料牌号为 0Cr18Ni9 的奥氏体

不锈钢板材拉伸实验,得到其主要强度指标及塑性指标,并通过性能曲线按线性回归,得出本材料强化段的应力-应变本构关系,一组平行试件的平均值见表 1。

表 1 奥氏体不锈钢材料性能指标

Table 1 Performance Index of austenitic stainless steel

材料牌号	屈服极限 $\sigma_{0.2}/\text{MPa}$	强度极限 σ_b/MPa	径缩前塑性变形 $\delta_5/\%$	弹性模量 E/MPa	强化弹性模量 E'/MPa	强化段本构 关系式
0Cr18Ni9	245	598	45	1.92×10^5	1.65×10^3	$\sigma = 245 + 7.1 \times 10^3 \epsilon$

2 超压处理压力的确定

2.1 计算步骤

奥氏体不锈钢容器的强化指标,主要由材料经强化后所达到的新的屈服极限、容器的最终壁厚及节约的不锈钢材构成。而这些指标均取决于超压处理所用的压力,容器随压力的升高塑性变形增大,材料的强化指标将进一步可提高,但同时也会降低材料的韧性和塑性。实验证明,奥氏体不锈钢材料在变形量 $\leq 10\%$ 的情况下,其塑性指标没有明显下降,延伸率仍超过 40%,远大于碳素钢或低合金钢所具有 20%~30% 的塑性指标^[3]。在一般情况下,容器强化时的变形量可采用 2%~4%。

奥氏体不锈钢容器超压处理计算步骤为:

(1) 已知容器的设计压力 P 、工程直径 D 、屈服极限 σ_s 、容器的焊缝系数 ϕ 及屈服安全系数 n_s ,确定容器的理论计算厚度 δ 。对圆柱筒体其计算公式为^[4]:

$$\delta = \frac{PD}{2\phi[\sigma] - P} \quad (1)$$

式中: $[\sigma] = \sigma_s/n_s$ 。

(2) 根据材料拉伸曲线,选择合适的强化屈服极限 σ_i 代入式(1),确定强化后的容器壁厚 δ_i 。计算公式为

$$\delta_i = \frac{PD}{2\phi[\sigma]_i - P} \quad (2)$$

式中: $[\sigma]_i = \sigma_i/n_s$ 。

(3) 确定进行超压处理的压力 P_i

$$P_i = \frac{2\sigma_i\delta_i}{D + \delta_i} \quad (3)$$

对于球形压力容器,其超压处理压力的计算方法及步骤同上。

2.2 设计举例

现设计一高压容器,公称直径为 150 mm,设计压力为 12 MPa,设计温度为 20℃,材料采用 0Cr18Ni9 奥氏体不锈钢。试确定其壁厚及超压强化压力。

根据图 1 中 0Cr18Ni9 奥氏体不锈钢性能曲线,选择合适的强化屈服极限,通过式(1)、(2)、(3)的计算,已知数据及计算结果见表 2。表中计算壁厚和最终壁厚根据计算结果分别圆整到 6 mm 和 4.5 mm。值得一提的是在选择强化屈服极限为 325 MPa 时,根据图 1 的模型可知,对应的变形为 1.13%。

表 2 奥氏体不锈钢容器设计数据与结果

Table 2 Design data for vessel of austenitic stainless steel

设计压力 P/MPa	公称直径 D/mm	设计温 度/℃	屈服极限 σ_s/MPa	安全系 数 n_s	焊缝系 数 ϕ	计算壁厚 δ/mm	强化屈服极 限 σ_i/MPa	最终壁厚 δ_i/mm	实际壁厚减 薄 $(\delta - \delta_i)/\text{mm}$	强化压力 P_i/MPa
12	150	20	245	1.5	1	5.72	325	4.27	6 - 4.5	18.93

3 实验研究

实验模型如图 2 所示。材料采用奥氏体不锈钢,尺寸规格为 $\Phi 159 \text{ mm} \times 4.5 \text{ mm}$,长度为 500 mm。在横截面 1-1 处的截面圆周上均布 4 个 90°应变,在升压过程中,用静态应变仪测量其周向应变 ϵ_θ 和轴向应变 ϵ_z 。实验结果平均值如图 3 所示。

从图 3 的强化压力 P_i 与周向应变 ϵ_θ 的曲线可以看出,当周向应变 $\epsilon_\theta = 1.13\%$ 时,所需强化压力为 18.03 MPa。与理论计算强化压力 18.93 MPa 相吻合。

4 结束语

(1) 在一定的变形范围内,对奥氏体不锈钢容器进行强化处理,保证容器的安全系数不变条件

下,容器壁厚减薄量与钢材的强化屈服极限成正比。

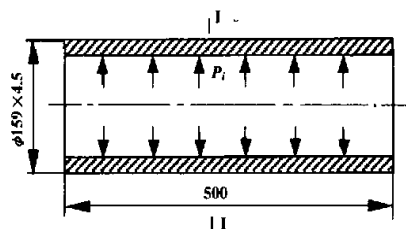


图 2 实验模型简图

Fig.2 Experimental model

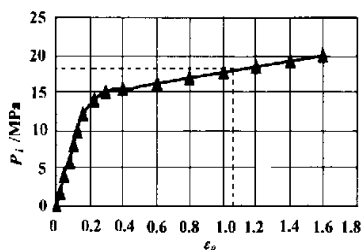


图 3 强化压力 - 周向应变曲线

Fig.3 The curve of hardening pressure & hoop strain

(2) 为不影响不锈钢材塑性及韧性指标,一般取强化处理容器的直径变形量为 2% ~ 4%。

(3) 本文讨论的超压处理技术是针对设计温度为常温的不锈钢容器进行的,当容器的设计温度高于常温时,其计算步骤同本文所述,只是在确定强化屈服极限时,要知道材料在一定温度下的力学性能。

参考文献:

- [1] 邹子和,朱 诚.我国不锈钢管生产的现状[J].企业技术开发,1997(3):7-8.
- [2] 左克珍.焊接不锈钢合金衬里输液管道的腐蚀行为[J].化工腐蚀与防护,1995(1):43-49.
- [3] ANON. Thinner stainless steel vessels, use of cold stretched technique[J]. Welding and Metal Fabrication, 1967, 35(5):30-32.
- [4] GB 150-98, 钢制压力容器[S]. 北京:中国标准出版社,1998.

Study on Overstressing Techniques for Austenitic Stainless Pressure Vessels under Normal Temperature

WANG Ya-hui¹, WANG Xue-sheng¹, WANG Ding-biao¹, GUO Cha-xiu¹, LI Jing²

(1. College of Chemical Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450002, China; 2. Henan Chemical Engineering School, Zhengzhou 450042, China)

Abstract: In order to reduce the thickness of the wall of pressure vessel and the consumption of austenitic stainless steel, the yield limit and designed stress of the austenitic stainless pressure vessel are enhanced by using the overstressing techniques. In this paper, according to the tension curve and elastic harden model, the strain-stress equation of plastic distortion has been derived. Using the unloading law and membrane theory, the calculation formulation of overstressing pressure for the austenitic stainless pressure vessel has been given, and the experimental results correspond to the theoretical value well. This method for designing the austenitic stainless pressure vessel is feasible and practicable.

Key words: austenitic stainless steel; material hardening; pressure vessel