

文章编号:1000-582X(2005)09-0013-03

确定材料屈服极限的一种新方法

张于贤^{1,2}, 廖振方¹, 王红², 裴江红¹

(1. 重庆大学机械工程学院, 重庆 400030; 2. 桂林电子工业学院管理系, 桂林 541004)

摘要:基于厚壁圆筒的弹性失效准则所确定的圆筒的初始屈服压力与材料的屈服极限的关系, 设计了一种测定材料屈服极限的实验方法, 并测得了一组实验数据. 通过对该实验数据的分析得到了圆筒的初始屈服压力, 最终求得了材料的屈服极限. 由于该实验值与理论值误差较小, 表明了该实验方法具有较好的可靠性. 该方法对研究材料的机械性能及压力容器的失效规律具有一定的工程实际意义和理论价值.

关键词:厚壁圆筒; 失效; 机械性能; 屈服极限
中图分类号:TE820.4

文献标识码:A

众所周知, 在当今工业生产的各个领域广泛使用金属材料. 为了能更好地选用金属材料, 在设计过程中就必须坚持技术可靠, 经济省钱这一基本原则, 所以熟悉各种材料的相关性能就显得非常必要. 就金属材料的机械性能而言, 屈服极限 σ_s 是重要的指标之一. 尽管零部件的失效形式千差万别, 但从强度失效这一大的方面来看, 屈服极限 σ_s 无疑是很重要的指标.

确定材料的机械性能参数常采用实验方法, 如拉伸试验、扭转试验. 笔者设计了一种新的测定材料屈服极限的实验方法.

1 基本原理

1.1 厚壁圆筒失效的几种观点

所谓容器失效是指容器达到这种程度即不能使用或者是失去正常工作能力. 失效是一种界限, 为了使用安全, 必须确定这个界限. 各种强度理论就是根据不同的论点得出的界限值, 作为设计计算的准则. 关于厚壁圆筒形高压容器的失效, 目前国内外有 3 种观点^[1-3].

1.1.1 弹性失效

容器筒体受内压作用内壁的金属纤维所受的应力达到或超过该材料的屈服极限, 也就是丧失弹性进入塑性, 这时就认为容器失效, 不能再继续使用. 这就是最早使用的弹性失效准则, 至今还被广泛的采用着.

1.1.2 塑性失效

容器筒体内壁的金属纤维若所受的应力达到该材料的屈服强度后, 丧失弹性进入塑性, 但是外面部分的筒体还未到达塑性而仍处于弹性状态, 它对内壁已屈服材料的进一步塑性流动起了约束作用, 所以容器内壁即使达到屈服并不会使容器破坏, 只有当塑性区不断向外扩展, 到达筒体外表面时, 即筒体整体达到屈服时, 容器才最终失效. 这就是塑性失效准则.

1.1.3 爆破失效

随着塑性区的扩展, 塑性变形将引起材料的硬化效应及器壁的逐渐减薄, 当硬化效应的作用较显著时, 筒体的承载能力不断提高, 直至硬化效应与壁厚减薄两作用的影响相等时, 承载能力才达到极限值, 接着壁厚减薄的影响逐渐显著, 承载能力随着下降, 当达到某压力值时即发生爆破, 称为爆破失效.

1.2 厚壁圆筒内壁初始屈服压力与材料屈服极限 σ_s 的关系

根据第 4 强度理论, 由弹性失效准则可知, 当高压容器内壁产生初始屈服时, 有下列关系^[1]:

$$P_i = 0.577\sigma_s \quad (1)$$

所以:

$$\sigma_s = \frac{P_i}{0.577} \quad (2)$$

式中: σ_s —材料的屈服极限;

• 收稿日期: 2005-03-15

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(59874033); 中国核动力院研究项目: 螺旋管多工位专用工作台的研究(W200220); 桂林电子工业学院资助项目: 厚壁自增强圆筒形容器的强度研究(Z200416)

作者简介: 张于贤(1968-), 男, 桂林电子工业学院副教授, 重庆大学在读博士研究生, 主要从事机械设计及理论和高压容器及工业工程方面的研究.

P_i —圆筒内壁初始屈服压力.

所以,在实验中,若能测得 P_i ,即可由式(2)计算 σ_s .

2 确定屈服极限 σ_s 的实验方法

2.1 实验原理

作者设计了一种测定材料屈服极限的实验方法,其原理图如图 1 所示.

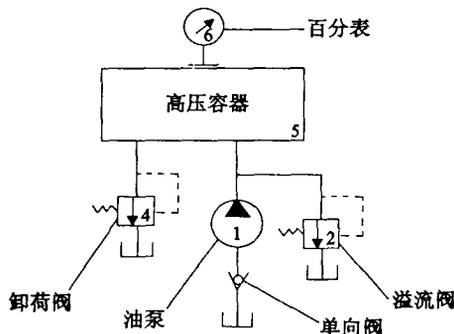


图 1 实验原理图

油泵 1 产生的压力油进入高压厚壁圆筒容器 5, 压力油的压力可由溢流阀 2 调定. 卸荷阀 4 为手动卸荷阀,其卸荷压力不能低于溢流阀 2 的调定压力. 当溢流阀 2 的调定压力一定后,通过固定在容器外表面的百分表 6 可测出在该压力下容器直径的变化值,具体地说是直径的增大值,然后由手动卸荷阀 4 对容器内的高压油卸压. 重新调节溢流阀 2 至一个较大的调定压力,按上述同样的方法即可测出在新的调定压力下容器直径的增大值.

根据高压容器在一定工作压力下的应力应变分布规律知,当工作压力较小时,整个容器从内壁到外表面都处于弹性状态,百分表 6 所测出的容器直径的增大值即是容器所发生的弹性变形,当压力卸去后,此变形随之消失. 当工作压力较大时,容器从内壁到外表面分成塑性层和弹性层两部分,百分表 6 所测出的容器直径的增大值包含了弹性变形和塑性变形两部分,当压力卸去后,弹性变形随之消失,而塑性变形得以保留^[4-6]. 根据这个规律,只要测出恰好产生塑性变形时的工作压力 P_i ,就可由式(2)算出材料的屈服极限 σ_s .

2.2 实验条件

该实验所用的试件是一个高压缸,材料为 2Cr13, 外径 $D=80$ mm, 内径 $d=23$ mm. 加压设备为数控万能水切割机. 试件的安装方式如图 2.

2.3 实验过程

首先将溢流阀调节到较低的调定压力 160 MPa, 油泵加压至此压待稳定后保压 10 min, 保压过程中记录下百分表的读数(此读数反映了容器直径的总变形). 然后缓慢卸压, 完全卸压后等待 10 min, 再记录

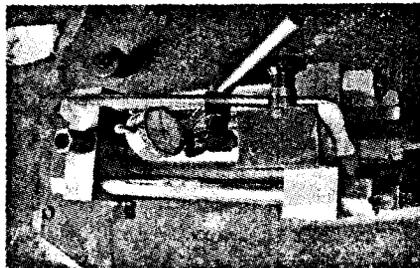


图 2 试件的安装方式

下百分表的读数(此读数反映了容器直径的塑性变形). 然后将溢流阀的调定压力按一定步长增大(为了保证在实验过程中既能节省时间又能使结果具有较高的可靠性,在低压时的步长为 10 MPa, 高压时的步长为 5 MPa), 在各个不同的调定压力下重复上述步骤, 注意记录在保压和卸压时容器直径的增大值. 需要提醒一点的是,卸压后至少要等待 10 min, 以尽量消除前次的实验值对后面实验值的影响.

2.4 实验数据

根据前述实验过程和要求,将实验数据记录如表 1 所示.

表 1 不同压力下保压及卸压时直径的增大值 0.01 mm

压力 /MPa	保压时直径的增大值	卸压后直径的增大值	压力 /MPa	保压时直径的增大值	卸压后直径的增大值
160	35.0	6.0	220	41.0	6.9
170	37.0	6.2	225	41.1	6.9
180	38.0	6.6	230	41.3	6.9
190	39.1	6.6	235	41.4	6.9
200	40.0	6.6	240	42.6	6.9
205	40.3	6.8	245	42.9	6.9
210	40.6	6.8	250	43.2	8.2
215	40.8	6.9	255	43.5	8.3

2.5 实验数据整理

在表 1 中,在低压下容器只产生弹性变形,卸压后该变形理应消失,但百分表所显示的读数并非完全如此,这是由系统粗大误差所带来的. 显然,在该实验中系统粗大误差为 $6.0 \times 0.01 = 0.06$ mm. 所以,除去该误差后,将表 1 整理成如表 2.

表 2 除去误差后容器保压及卸压时直径增大值 0.01 mm

压力 /MPa	保压时直径的增大值	卸压后直径的增大值	压力 /MPa	保压时直径的增大值	卸压后直径的增大值
160	29.0	0.0	220	35.0	0.9
170	31.0	0.2	225	35.1	0.9
180	32.0	0.6	230	35.3	0.9
190	33.1	0.6	235	35.4	0.9
200	34.0	0.6	240	36.6	0.9
205	34.3	0.8	245	36.9	0.9
210	34.6	0.8	250	37.2	2.2
215	34.8	0.9	255	37.5	2.3

2.6 实验数据分析

从表2看,压力从160 MPa—250 MPa时,尽管卸压后有较小的塑性变形,但这种变形是由于压力油的温度升高而产生的热膨胀效应所带来的,并不是工作压力使容器产生了塑性变形.但当压力为250 MPa时,高压容器的塑性变形明显增大,表明容器因压力而产生了初始屈服,即圆筒内壁的初始屈服压力 $P_i = 250$ MPa.

2.7 计算屈服极限 σ_s

由式(2)得:

$$\sigma_s = \frac{P_i}{0.577} = \frac{250}{0.577} = 433.3 \text{ MPa} \quad (3)$$

3 结果分析

查材料手册得,材料2Cr13的屈服极限 $\sigma_s = 450$ MPa^[7],故用上述实验方法确定的材料的屈服极限 σ_s 的相对误差为:

$$\varepsilon = \frac{450 - 433.3}{450} = 3.7\% \quad (4)$$

由于 $\varepsilon = 3.7\% < 50\%$,表明由该实验方法测得的材料的屈服极限具有较高的准确性,能够满足工程实际的要求.

4 结束语

该实验方法操作简便,结果可靠,具有工程实际价值,该方法尤其适用于合金钢类高强度钢材料,其研究

方法对研究热套型高压容器、自增强高压容器、超高压液缸等在高压作用下应力应变规律及其失效准则等均具有一定的借鉴作用.为了提高实验结果的准确度,主要采取两方面的措施:

- 1) 卸压后间隔足够长的时间,使弹性变形得以消失,以消除前一次加压所产生的变形对后一次加压产生的变形的影响,如果时间间隔不够,则这种尚未消失的弹性变形的累积效应将导致实验结果较大的误差;
- 2) 考虑压力油热膨胀因素后,从理论上对热膨胀变形予以剔除.

参考文献:

- [1] 邵国华. 超高压容器设计[M]. 上海:上海科学技术出版社,1984.
- [2] 张于贤,王红,陈德淑. 关于计算最佳弹塑性界面半径的探讨[J]. 重庆大学学报(自然科学版),2004,27(6):30-40.
- [3] 张于贤,王红. 关于厚壁圆筒自增强容器的理论研究[J]. 机械,2004,31(8):13-14.
- [4] 战人瑞,陶春达,吕瑞典. 自增强容器最佳超应变数值分析[J]. 石油化工设备,2003,32(6):23-26.
- [5] 李萍,许梅. 屈服损伤对高压容器用N₃V钢力学性能的影响[J]. 兵器材料科学与工程,2003,26(6):42-49.
- [6] 杨勇,姜振锋,吴菲. 高压容器爆炸能量的计算[J]. 苏州大学学报(自然科学版),2000,16(1):80-84.
- [7] 仇铤,许振铎,于志忠. 金属材料使用手册[M]. 沈阳:辽宁人民出版社,1983.

Laboratorial Method of Determining Limit of Yielding of Material

ZHANG Yu-xian^{1,2}, LIAO Zhen-fang¹, WANG Hong², PEI Jiang-hong¹

(1. College of Mechanical Engineering, Chongqing University, Chongqing 400030, China;

2. Guilin University of Electronic Technology, Guilin 541004, China)

Abstract: Based on the relation between the incipient yield pressure and the limit of yielding in cylinder according to the elastic disabled rule, a laboratorial method of determining limit of yielding of material is designed and a set of experimental data were gained by the method. The incipient yield pressure of the cylinder is gained by analyzing the experimental data, and then the limit of yielding is gained. The laboratorial method has a good reliability as the experimental value has a little error to the theory value. It has a definite engineering signification and theory value to research the mechanical capability of material and the disabled rule of high pressure vessel.

Key words: thick wall cylinder; disabled; mechanical capability; limit of yielding