

规定非比例伸长应力 $\sigma_{p_{0.2}}$ 的图解测定法分析

Comparing Proof Stress of Non-proportional Elongation by Two Diagram Methods

孟华芳 (成都发动机公司)

Meng Huafang (Chengdu Engine Manufacture Co.)

[摘要] 对拉伸试验系统具有两个不同弹性系数情况下的夹头位移法和引伸计法所测规定非比例伸长应力 $\sigma_{p_{0.2}}$ 做了分析,根据引伸计法及夹头位移法的精度要求,指出了夹头位移法的弊端和推广使用引伸计法的必要性以及引伸计法的发展方向。

关键词 拉伸弹性模数 规定非比例伸长应力 $\sigma_{p_{0.2}}$ 夹头位移法 引伸计法

[Abstract] Tensile test system was analyzed by two different modulus of elasticity. Two kinds of diagram methods were applied to obtain the proof stress of non-proportional elongation. The precisions of two methods based on extensometer and cross-head displacement were discussed. The disadvantage of cross-head displacement method was pointed out and improvement of strain gauge method was discussed.

Keywords modulus of elasticity proof stress of non-proportional elongation strain gauge method gripe displacement method

1 前言

用图解法测定规定非比例伸长应力 $\sigma_{p_{0.2}}$,有两种方法。一种是用引伸计测力-伸长曲线并图解,简称引伸计法;另一种是在力-夹头位移曲线上图解,简称夹头位移法。引伸计法的优点是精度高,但效率较低,对尺寸较小试样(如直径小于1mm的试样)无法使用。夹头位移法不装引伸计,效率较高,目前在国内的生产检验中用得较多。但对这两种方法各自特点的分析报导不多。对试验系统(试样平行长度以外的部分)的弹性系数 K 在整个拉伸过程中恒定不变的情况,曾作过讨论^[1]。但由于机器结构等原因,有些试验系统在拉伸过程中出现两个弹性系数 K_1 与 K_2 的情况尚待研究。

2 试验设备与方法

用瑞士Amsler公司生产的SZBDA52型液压万能试验机和原东德产ZD10-90型电子拉伸试验机进行拉伸试验。试样材料为35号钢,标距长50mm,平行段长60mm。

用夹头位移法与引伸计法分别对拉伸曲线进行分析、对比,以对出现两个弹性系数的试验系统给出的结

果进行评估。

3 试验结果与讨论

拉伸试验结果示于图1。由图可知,利用上述两种不同方法所得的力-变形关系曲线,不相重合。在试样屈服时,标距伸长量(Δl)与夹头位移(S)之比的平均值为0.96^[2]。表明,在试样非比例伸长的初始阶段,拉伸系统的非线性变形极小,可忽略不计。此时的力-伸长或位移的关系曲线示于图2。图2中曲线1为试样的力-伸长曲线。设 F_p 为理论比例极限对应的力, k 为试样的弹性变形系数,则

$$F_p \geq F \geq 0 \text{ 时} \quad y = kF$$

$$F > F_p \text{ 时} \quad \text{可设 } y = y(F)$$

直线2为通过 $(0, y_0)$ 点、斜率为 k 的直线:

$$y = kF + y_0$$

式中 y_0 为规定的非比例伸长量。

直线2与曲线1交于C点 $(F_{p_{0.2}}, y_1)$ 该点的横坐标 $F_{p_{0.2}}$ 便为引伸计法在该点所测 $\sigma_{p_{0.2}}$ 相应的力值,则

$$\text{方程组} \begin{cases} y = y(F) \\ y = kF + y_0 \end{cases} \quad (1)$$

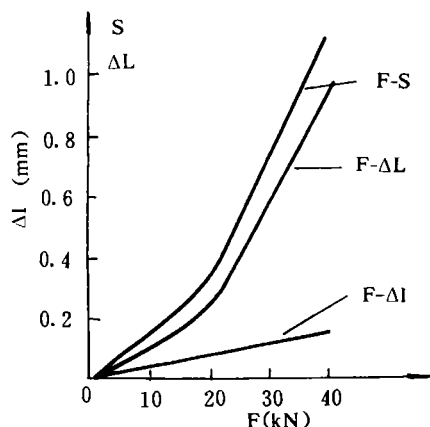


图1 拉伸曲线

方程(1)的解为
$$\begin{cases} F = F_{p_{0.2}} \\ y = y_1 = y(F_{p_{0.2}}) \end{cases}$$

折线3是试验系统的力-变形(位移)线。由于系统有两个弹性系数 k_1 和 k_2 , 所以

$$\text{当 } F_1 \geq F \geq 0 \text{ 时, } y = k_1 F$$

$$\text{当 } F > F_1 \text{ 时, } y = k_2 F + (k_1 - k_2) F_1$$

曲线4由曲线1与折线3叠加而得

$$\text{当 } F_1 \geq F \geq 0 \text{ 时, } y = (k + k_1) F$$

$$\text{当 } F_p \geq F > F_1 \text{ 时, } y = (k + k_2) F + (k_1 - k_2) F_1$$

$$\text{当 } F > F_p \text{ 时, } y = y(F) + k_2 F + (k_1 - k_2) F_1$$

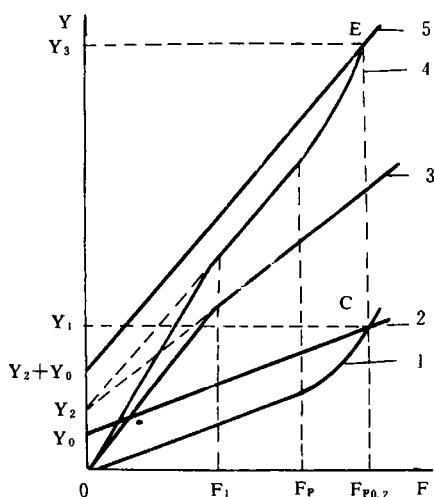


图2 力-伸长曲线

把曲线4在 $F > F_1$ 的直线段反向延长与 y 轴相交得截距 $y^2 = (k_1 - k_2) F_1$, 这与折线3在 $F > F_1$ 的直线段反向延长所得的 y 轴上的截距相等。

直线5是通过 $(0, y_2 + y_0)$ 点、斜率为 $(k_2 + k)$ 的直线, 即

$$y = (k + k_2) F + y_2 + y_0$$

它与曲线4交于E点 $(F_{p_{0.2}}, y_3)$

$$\text{方程组 } \begin{cases} y = y(F) + k_2 F + y_2 \\ y = (k + k_2) F + y_0 + y_2 \end{cases} \quad (2)$$

$$\text{方程(2)的解为 } \begin{cases} F = F'_{p_{0.2}} \\ y = y_3 \end{cases}$$

$F'_{p_{0.2}}$ 就是用夹头位移法测得的 $\sigma_{p_{0.2}}$ 对应的力值。

比较方程(1)和(2)可看出, 方程组等式右边相差一个相同的量 $y_2 + k_2 F$, 所以有

$$F'_{p_{0.2}} = F_{p_{0.2}}$$

$$\text{而 } y_3 = y_1 + k_2 F'_{p_{0.2}} + y_2$$

这说明, 虽然试验系统有两个不同的弹性系数, 如果图解方法正确, 仅就 $\sigma_{p_{0.2}}$ 而言, 用夹头位移法还是可以得到一定精度的数据。这是夹头位移法能长期得到应用的原因之一。

在试验系统的弹性系数不是唯一常数的情况下, 如果拉伸曲线的非线性阶段从 F_1 开始(见图3), 那么用夹头位移法也会引起较大的误差。至于夹头位移的精度要求, 则取决于: (1) 测定 $\sigma_{p_{0.2}}$ 时, 允许的最大应变误差 $\Delta \epsilon_{\max}$, 如 $\Delta \epsilon_{\max} = 0.0002$; (2) 试样的正弹性模量 E (对钢一般取 210 GPa)、试样的 $\sigma_{p_{0.2}}$ 与 $F_{p_{0.2}}$ 的值; (3) 试验系统的弹性系数 K 。

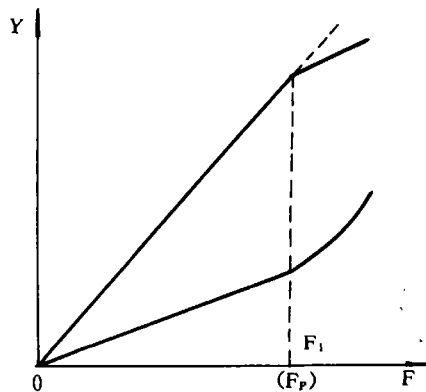


图3 拉伸曲线

试样的弹性应变为 ϵ_e , 则

$$\epsilon_e = \frac{\sigma_{p_{0.2}}}{E} \quad (3)$$

试样的非比例伸长为 ϵ_p , 对 $\sigma_{p_{0.2}}$

$$\epsilon_p = 0.002$$

设 l_0 为试样的平行长度, Δl 为试样的总伸长, 则

$$\Delta l = l_c (\epsilon_e + \epsilon_p)$$

此时, 试验系统的变形 (位移) 为 ΔL , 且

$$\Delta L = K \cdot F_{p_{0.2}}$$

设夹头位移为 S , 其绝对误差为 ΔS , 相对误差为 δ , 试样的应变误差为 $\Delta \epsilon$, 则

$$\begin{aligned} S &= \Delta l + \Delta L = l_c (\epsilon_e + \epsilon_p) + k \cdot F_{p_{0.2}} \\ \Delta S &= \delta \cdot S = \delta [l_c (\epsilon_e + \epsilon_p) + k \cdot F_{p_{0.2}}] \\ \Delta \epsilon &= \frac{\Delta S}{l_c} = \delta (\epsilon_e + \epsilon_p + \frac{k \cdot F_{p_{0.2}}}{l_c}) \leq \Delta \epsilon_{\max} \quad (4) \end{aligned}$$

即可算出 δ 。

如用引伸计法, 即只考虑试样变形, 不计试验系统的变形 (位移), 则 K 为 0, 并设 δ_1 为引伸计的相对误差, 则有

$$\delta_1 (\epsilon_e + \epsilon_p) \leq \Delta \epsilon_{\max} \quad (5)$$

即可算出 δ_1 。

现举例说明: 某钢种 $\sigma_{p_{0.2}} = 630 \text{ MPa}$, 试验系统 $k = 1.80 \times 10^{-5} \text{ mm/N}$, $\Delta \epsilon_{\max} = 0.0002$, 试样直径为 10mm, l_c 为 60mm。

$$\text{代入 (3)、(5) 式得} \quad \delta_1 \leq 0.04$$

$$\text{代入 (4) 式得} \quad \delta \leq 0.01$$

由此可见, 在应变误差要求相同的情况下, 对夹头位移的精度要求比引伸计的要高得多。反过来说, 夹头位移

法测出的指标 ($\sigma_{p_{0.2}}$ 、 $\sigma_{p_{0.5}}$ 等) 的精度较低。

4 结论

(1) 夹头位移法得到的是力-夹头位移曲线而不是材料本身的力-伸长曲线。所以, 夹头位移法不能用于研究拉伸时材料的力学行为, 而测出的 $\sigma_{p_{0.2}}$ 只能作为一般生产检验参数, 但不能代表材料力学性能指标。

(2) 夹头位移包含了试验系统和试样平行长度两部分变形, 影响力-夹头位移曲线的因素较多, 降低了测试精度。所以, 在室温拉伸的国际标准及发达国家的标准和国内一些行业标准 (如航标) 都不列出夹头位移法。而高温拉伸, 国外有的标准 (如 ASTM E21) 只作为近似的方法, 用在无法装引伸计的场合。

(3) 鉴于我国的现状, GB228-87 把夹头位移法限制在非比例伸长率不小于 0.2% 的范围。而从发展方向看, 夹头位移法的使用范围必将缩小。另一方面, 应大力发展、普及引伸计法。由于测试量大, 应大力发展既能自动测定 $\sigma_{p_{0.2}}$, 又能作出力-伸长曲线的装置, 求得高精度及高效率。

参考文献

- 1 孟华芳. 图解法测定屈服强度的探讨. 理化检验 物理分册, 1986, 1
- 2 孟化芳. 液压拉力机柔度测试探讨. 四川机械, 1984, 5

(上接第 16 页)

形成裂纹, 裂纹便与纤维垂直, 裂纹尖端的应力集中易导致碳纤维束分散断裂, 弯曲, 强度低。而未经磁场处理的单向 C/C 复合材料的基体碳层片与纤维呈随机取向关系, 基体开裂后, 其裂纹并不一定垂直于碳纤维, 也就不易引起纤维束分散开裂, 所以弯曲强度高, 如图 4 所示。

正是因为 TOG 结构是一种弱的界面结合, 当裂纹扩展到一定长度后, 进一步扩展将沿基体与纤维之间的界面进行, 在断裂发生时, 易导致纤维拔出, 因而形成了图 5a 所示的 SEM 断口表面, 纤维断裂不在同一平面上。

断裂过程中, 消耗的断裂功通常由四部分组成: 纤维拔出功、界面脱粘分层功、纤维断裂功和基体变形开裂功, 其中以纤维拔出功消耗的能量最大, 因为纤维拔出过程中的滑动、摩擦耗能大。磁场处理过的 C/C 复合

材料在断裂过程中拔出的纤维明显多于未经磁场处理的 C/C 复合材料, 因而其断裂功要远大于未经磁场处理的 C/C 复合材料。

参考文献

- 1 Jorter J. Army Symp. Solid Mechanics, AMMRC MS 76-2, 1976, 81
- 2 Peebles L. H. Interface in C/C Composites. AD-A 203.1988, 318
- 3 Fitzer E, Terwiesch B. Carbon, 1972, 10: 383
- 4 Fitzer E. Carbon, 1980, 18: 265
- 5 于翘. 宇航材料工艺, 1992, 2: 1
- 6 Otani S. Tanso, 1988, 132: 9
- 7 Christ K. Carbon, 1993, 31: 731