

Analysis on Deviation and Necking Formula between the Elongation and Reduction in Tensile Test

Run Xu, Sugun Lim

Metallurgical Engineering Department, Gyeongsang National University, Gyeongsangnam-do Chinju
Email: xurun@hanmail.net

Received: Oct. 20th, 2018; accepted: Nov. 7th, 2018; published: Nov. 14th, 2018

Abstract

According to density invariability of elongation and reduction of specimens in the tensile, by adapting formulas we can calculate the mathematical compare relation of them. Conditions to cause necking formula and deviation rules are gained. From deviation relations of reduction and elongation we find that in the case of smaller than 0.09 reduction deviation it will become good with compare to elongation one. In the case of bigger than certain value reduction one of 110 will be good too. They are 1.83 times good to compare with the strain. Additionally the formula of necking is gained with $\psi > k\varepsilon$. In general the k will be larger than 2. If the necking becomes big, the k will become big too. It is thought that Twin causes necking and dislocation causes strain.

Keywords

Compare Analysis, Density Invariability, True Elongation and Reduction, Deviation of True Reduction and Elongation, Necking Formula

关于拉伸试验中真实收缩率和延伸率间偏差和颈缩分析

许 润, 林水根

庆尚大学, 金属材料工学科, 庆尚南道 晋州
Email: xurun@hanmail.net

收稿日期: 2018年10月20日; 录用日期: 2018年11月7日; 发布日期: 2018年11月14日

摘要

根据拉伸试验中试件收缩率和延伸率间一定的适用公式, 可以推导出它们之间的公式。由偏差关系得出在小于0.09时收缩偏差较好, 在中间一段延伸偏差较好, 大于一定值收缩率偏差又变好的规律。在110%偏差率时收缩率的值小于延伸率, 它的真实性高1.83倍。根据试件拉伸前后的延伸率得出在拉伸后的颈缩公式 $\psi > k\varepsilon$, 在这里 k 是大于等于2的参数, 颈缩变大 k 值也变大。

关键词

分析比较, 密度不变原则, 真实断面收缩率公式, 真实收缩率和延伸率偏差, 颈缩公式

Copyright © 2018 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

拉伸试验是确定材料机械性能的基本试验。假设变形前后试件的密度不变原则下, 研究延展性和收缩量的偏差和颈缩, 有一定的价值[1] [2]。本论文用推倒来算出真实收缩率和收缩率间的关系, 分析了两者间的偏差。收缩率偏差大则它的真实性大, 即收缩率变大。延伸率偏差小于收缩率, 真实值变小。这在工程应用方面有利, 因为我们不需计算即可知道曲线。在偏差较大区间, 需换成真实值。所以一定范围内的偏差值变化规律是这次研究的内容之一[2]。因为颈缩是拉伸实验的最后一环, 它的延伸率会大于前面延伸变形之和。但从 45#中碳钢试件的拉伸试验结果分析来看颈缩阶段的延伸率没有那么大, 也不是很小。其断面收缩率变化显著, 它与延伸率相当甚至更大。这可能就是宋玉泉所说的“失稳” [3], 所以我们研究颈缩是拉伸试验的比较好的环节, 比如许多断面收缩率大于延伸率 2 倍的状况是颈缩失稳引起的。如何理解断面收缩率大于 2 倍延伸率是本次我们研究的课题。

2. 计算结果

在试件中 l_0 的一段称为标距, l 为断裂后的标距测量长度。试件初始横截面积是 S_0 , 断裂后是 S , d_0 为圆试件的初始直径, d 是断裂后直径[1]。试件理论收缩率用 ψ 和延伸率用 ε 表示, 公式为

$$\varepsilon_l = LN(1 + \varepsilon) \quad (1)$$

$$\text{由于 } d\psi_l = \frac{dS}{S_0}, \text{ 所以 } \psi_l = \int_{S_0}^S \frac{1}{S} dS = LN \frac{S}{S_0} = LN \frac{S_0 - \Delta S}{S_0} \quad (2)$$

$$\text{由于 } \psi = \frac{\Delta S}{S_0} \quad (3)$$

$$\text{所以真实收缩率 } \psi_l = LN \frac{S_0 - \Delta S}{S_0} = LN(1 - \psi) \quad (4)$$

$$\text{即 } \psi_l = LN(1 - \psi) \quad (5)$$

由上可知收缩率的最大值小于 1。真实收缩率 $y = \psi_l$, 则 $dy/d\psi = 1/(1 - \psi)$ 大于 0, 故 $y - \psi$ 之间为增

函数, $\Delta\psi$ 大于 0 时 $\Delta\psi_t$ 也大于 0, 即随着 ψ 的增加而 ψ_t 增大。在 ψ 小于 10% 时可用下式近似计算, 即

$$\psi_t \approx \psi \tag{6}$$

3. 讨论

从图 1 可以看出, 在趋势线下方收缩率偏差大。在收缩率偏差 9%~109% 区间即在 $\psi_t = (1.09 \sim 2.09)\psi$ 区间真实延伸率和延伸率偏差之比小于收缩率偏差之比。表 1 是收缩率在 $\psi_t = 1.09\psi$ 和 2.09ψ 时的偏差大小的数据分析。它说明随着延伸率的增大延伸率的偏差变大。当 $\Delta\psi/\psi$ 为定值即图 1 左下角的位置 0.09 时和右上方 1.09 时随着延伸率的增大真实收缩率 ψ_t 也增大。真实收缩率与真实延伸率偏差在 0.09 时相差不大, 但在 1.09 时相差 1.83 倍。这说明真实收缩率的真实度增大了近一倍。真实收缩率在这些偏差时后者是前者的近 2 倍, 说明收缩率值在偏差增大后变得更真实。在延伸量逐渐加大的情况下收缩偏差大于延伸偏差, 所以收缩偏差的真实性大。如图 1 所示, 可以从曲线上清楚看到这一趋势。根据图中虚线可知在虚线上方延伸率偏差率值大, 在虚线下方断面收缩率偏差率较小。即延伸率在上方真实性高, 断面收缩率在下方其真实性高。在 9%~109% 区间断面收缩率的偏差率比延伸率的高, 真实性高。从图 1 可以看出, 偏差 Δ 与断面收缩率 ψ 之比随着断面收缩率的增大而增大。此俩方程式的曲线为一条近似直线, 收缩率偏差比延伸率偏差大约成比例增加。收缩率的偏差在大于 80 时它的偏差大于延伸率的 1.83 倍, 说明收缩率比延伸率真实约 1.83 倍。

规定了两种标准拉伸试样, $l_0/\sqrt{S_0} = 11.3$ 和 5.65 。这里有根据密度不变原则 $V = l_0 d_0^2 \pi/4 = l d^2 \pi/4$, 得 $d_0^2/d^2 = l/l_0$, 又由 $l_0 S_0 = l S$, 得 $l/l_0 = S_0/S$, 故得

$$\frac{d_0}{d} = \frac{\sqrt{l}}{\sqrt{l_0}} = \frac{\sqrt{S_0}}{\sqrt{S}} \tag{7}$$

对于圆拉伸试样, 相应于 $l_0 = 10d_0$ 和 $l_0 = 5d_0$, 分别称为 10 倍和 5 倍试样。相应地, 延伸率分别用 ε_{10} 和 ε_5 表示, 标距短延伸率则大。由图 2 可知设拉伸前标距 l_0 内分为 5 等分, 拉伸实验后除了中间为 $2\sqrt{S_0}$ 为外, 其余为 $1.2\sqrt{S_0}$ 。当第 3 段里发生的颈缩为 $\sqrt{S_0} = 1/2 * d_0 \sqrt{\pi}$, 即 $2\sqrt{S_0} = 1.77d_0$ 。如果拉伸前的此段在拉伸后成为 $2\sqrt{S_0}$, 由于 $2 > 1.8$ 因此此段发生了颈缩, 它的长度在此段没有超出过大范围, 则最小值为 $2\sqrt{S_0}$ 即为合格试样。如果颈缩大需相应增大倍数。如果颈缩断裂面在标距中央就直接测量 l , 如果偏移到距最近标距处 $l_0/3$ 以内则可用移位法测量延伸率。研究颈缩发生区间就是探讨颈缩伸长量, 以此进一步研究收缩率过大的原因。如果颈缩伸长量在 $2\sqrt{S_0}$ 区间则认为收缩断口是产生了双晶形成较大的收缩量。

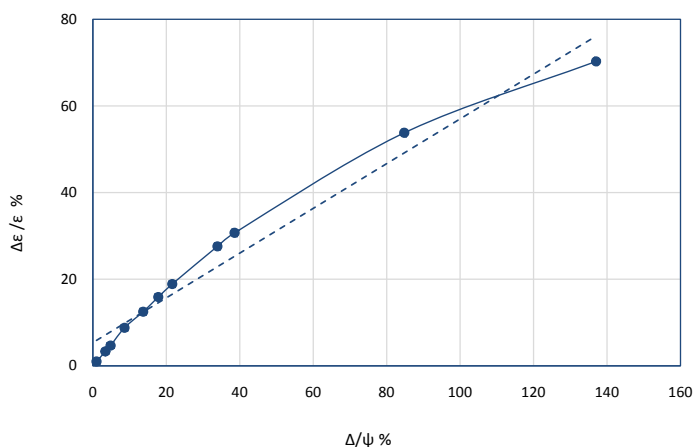


Figure 1. Relation between the true elongation deviation and the reduction deviation
图 1. 真实和延伸率偏差之比和收缩率偏差之间的关系图

Table 1. Deviation of reduction between $\psi_i = 1.09\psi$ and $\psi_i = 2.09\psi$

表 1. 收缩率在 $\psi_i = 1.09$ 和 2.09ψ 时的偏差大小

序号	数值%	ε_i	$\Delta\varepsilon/\varepsilon$	ψ	ψ_i	$\psi_i - \psi$ 式
1		2.00	0.99	2.00	2.18	
2		2.46	2.42	4.76	5.19	
3		4.80	4.69	9.10	9.92	
4		7.1	6.83	13.0	14.1	$\psi_i = 1.09\psi$
5		13.7	12.6	23.1	25.1	
6		21.7	18.9	33.3	36.3	
7		84.8	70.3	75.0	81.7	
8		1.00	0.99	2.00	4.18	
9		2.41	2.42	4.76	9.95	
10		4.80	4.69	9.10	19.0	
11		7.13	6.83	13.0	27.1	$\psi_i = 2.09\psi$
12		13.6	12.6	23.1	48.2	
13		21.8	18.9	33.3	69.6	
14		85.0	53.8	75.0	156	

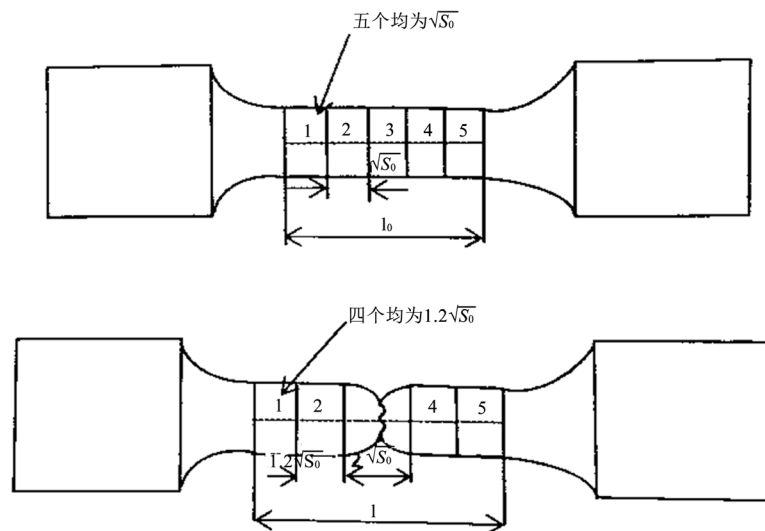


Figure 2. Variation of the specimen elongation before and after test

图 2. 拉伸前后试件延伸率的变化, 这里 S_0 是初始面积

设拉伸实验后 Δl_j 为颈缩长度变化, Δl_q 为其余部分长度变化。则 $\Delta l_j \geq \Delta l_q$ 时发生颈缩, 由于 $\psi_i = \varepsilon_i$ 可认为

$$\psi = \frac{\Delta l_j}{l_0} \geq \varepsilon/2 \tag{8}$$

为延性材料颈缩发生依据。如果 Δl_j 值变大颈缩变大, 它跟 ε 的变化成正比。

ψ 和 $1/\sqrt{S_0}$ 的关系曲线如图 3。断面收缩率随着 $1/\sqrt{S_0}$ 减少, ψ 从 90% 减少到 0。 $1/\sqrt{S_0}$ 变小则试件面积 S_0 变大断面收缩率变小。收缩率变大第一是因为试件尺寸外的外部条件, 这时材料承载大, 颈缩也大。第二是因为内部结构问题, 这时裂纹经过的路径多而产生颈缩。这是试验负载和材料性质所致。从缺陷分析转位引起延伸率增加, 双晶引起收缩率增加。

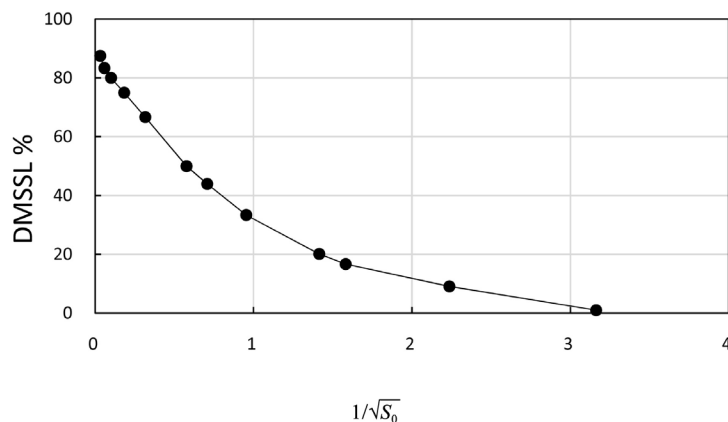


Figure 3. Relation of the reduction and $1/\sqrt{S_0}$

图3. 断面收缩率和 $1/\sqrt{S_0}$ 的关系

如宋玉泉[3]提出的失稳等难以解决的现象发生, 单纯依靠数学关系来解决是不够的, 需要对此进行全方位的调查才能应用到实际当中, 解决问题并成为标杆作用。例如失稳就是断面收缩率在大于等于理论延伸率时发生, 这与数学关系论证相违背, 所以需注意到为什么会发生这种现象来定义才能分析并解决问题, 这会在以后的论文当中进行探讨。甚至某些断面收缩率达到数倍理论延伸率值也会有其一定的因素起作用。

4. 结论

1) 在真实收缩率小于 1.09 倍 ψ 时真实延伸率和延伸率偏差之比小于断面收缩率偏差率之比, 收缩率更真实。当真实收缩率大于 2.09 ψ 时收缩率偏差又变大, 当真实收缩率一定时收缩率变大, 偏差也变大, 收缩率也更真实。真实收缩率在 0.09 和 1.09 偏差时后者是前者的近 2 倍, 说明收缩率值在偏差增大后变得更真实。当 Δ/ψ 为 80 时收缩率偏差比延伸率的偏差大, 约 1.83 倍, 说明收缩率比延伸率更真实 1.83 倍。

2) 对于延性材料延伸试件引起颈缩的范围为断面收缩率 $\psi \geq 2\varepsilon$ 或 $\Delta l_j/l_0 \geq \varepsilon/2$, 颈缩越大 $\Delta l_j/l_0$ 越大。当 $\Delta l_j/l_0 \geq \varepsilon$ 时整个收缩率 $\psi \geq 3/2\varepsilon$ 或达到 $\psi \geq 2\varepsilon$ 。随着颈缩继续变大 $\psi \geq K\varepsilon$, 此时 $K \geq 2$, 甚至 $K \geq 7$ 。我们认为转位引起延伸率的增大, 双晶引起收缩率增加。因为拉断时材料在外力或动载作用下会出现大的响声, 由此判断一定数量甚至大量的双晶出现, 我们认为它是颈缩失稳的主要原因。

基金项目

KOSEF (the Korea of Science and Engineering Fund) under the Specified base program 96-0300-11-01-3.

参考文献

- [1] 刘鸿文. 材料力学[M]. 第二版. 北京: 高等教育出版社, 1982: 29.
- [2] 许润, 许甫宁, 林水根, 金然昂. 拉伸试验中矩形和圆截面试件的延伸率和断面收缩率之间的数学关系[J]. 中文科技期刊数据库自然科学(全文版), 2018(7): 101.
- [3] 宋玉泉, 索忠林, 管志平, 刘颖. 材料参数对拉伸失稳影响的力学解析[J]. 金属学报, 2006, 42(4): 338.

知网检索的两种方式：

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择：[ISSN]，输入期刊 ISSN：2160-7613，即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入，输入文章标题，即可查询

投稿请点击：<http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱：ms@hanspub.org