

GB/T 228.1—2010 中断后伸长率测量方法浅析及修订建议

卢美娇¹, 李荣锋^{2,3}, 吕超¹, 历妍¹

[1. 宝钢湛江钢铁有限公司 制造管理部, 湛江 524072; 2. 广东(东莞)材料基因高等理工研究院, 东莞 523808;
3. 中国核动力研究设计院 反应堆燃料及材料重点实验室, 成都 610213]

摘要:根据 GB/T 228.1—2010 中断后伸长率的测量方法, 选取塑性富余量较小的 BW300TP 耐磨钢板进行拉伸试验, 分析了采用机器测量方法和手工测量方法测得的断后伸长率结果有差异的原因, 并对标准提出修订建议。结果表明: 因断裂位置偏离标距中心, 机器测量的断后伸长率小于手工测量的断后伸长率, 可用关系式 $y=0.8505x+5.1838$ 对机器测量的断后伸长率结果进行补偿和修正。建议 GB/T 228.1—2010 中 P7 带头试样的平行长度最小值修改为 60 mm; 取消附录 D 中矩形截面非比例试样平行长度 $L_c \geq L_0 + 1.5\sqrt{S_0}$ 的规定; 增加不同试验材料的机器测量断后伸长率的修正方法及修正建议值。

关键词:断后伸长率; 测量方法; 补偿修正; 平行长度; 断后标距

中图分类号: TG115.5 文献标志码: A 文章编号: 1001-4012(2021)04-0015-04

Analysis and Revision Suggestions on Elongation after Fracture Measurement Method of GB/T 228.1—2010

LU Meijiao¹, LI Rongfeng^{2,3}, LÜ Chao¹, LI Yan¹

(1. Products & Technique Management Department, Baosteel Zhanjiang Iron and Steel Co., Ltd., Zhanjiang 524072, China;
2. Centre of Excellence for Advanced Materials, Dongguan 523808, China;
3. Science and Technology on Reactor Fuel and Materials Laboratory, Nuclear Power Institute of China, Chengdu 610213, China)

Abstract: According to GB/T 228.1—2010 measurement method of elongation after fracture, BW300TP wear-resistant steel plate with small plastic surplus was selected for tensile test, and the reasons for the difference of elongation after fracture measured by machine-measured method and hand-measured method were analyzed, and some suggestions for revising the standard were put forward. The results show that the elongation after fracture measured by machine was less than that measured by hand because the fracture position deviated from the center of gauge length. The formula $y=0.8505x+5.1838$ could be used to compensate and correct the elongation after fracture. It is suggested that the minimum parallel length of P7 lead sample in GB/T 228.1—2010 be modified to 60 mm, cancel the stipulation of parallel length of non-proportional sample with rectangular section in Appendix D $L_c \geq L_0 + 1.5\sqrt{S_0}$, and add the correction method and recommended value of elongation after fracture for machine-measured of different test materials.

Keywords: elongation after fracture; measurement method; compensation correction; parallel length; gauge length after fracture

收稿日期: 2021-01-18

基金项目: 广东省基础与应用基础研究重大项目 (2019B030302011); 反应堆燃料及材料重点实验室稳定支持课题 (JCKYS2019201073)

作者简介: 卢美娇(1988—), 女, 助理工程师, 主要从事金属材料力学性能检验工作, 192068@baosteel.com

在金属材料拉伸试验中, 断后伸长率是反映金属材料塑性的一个重要指标, 其值越大, 表示金属材料的塑性越好^[1-3]。在实际的室温拉伸试验中, 某些塑性指标富余量较小的拉伸试样未断裂在引伸计标距的中部而产生断裂位置偏移的现象非常普遍^[4],

而在此状态下机器自动测量断后伸长率所产生的误差很大^[5-7]。此时,需要采用其他方式测量断后伸长率,如手工测量(包括移位法测量)或重新进行试样加工再试验等。而上述做法使得拉伸试验的工作繁琐复杂,大大降低了检验效率。

在目前的钢铁试验室拉伸试验断后伸长率的检验工作中,大多数试验室采取机器测量断后伸长率的方式,但因断后位置不在标距中部而得到的断后伸长率误差通常较大^[5]。因机器测量误差导致断后伸长率未达到用户需求,产品被判废,极大地影响了钢厂的钢卷成材率。GB/T 228.1-2010《金属材料拉伸试验 第1部分:室温试验方法》中对拉伸试验断后伸长率有以下描述:“原则上,断裂发生在引伸计标距 L_0 以内方为有效,但断后伸长率等于或大于规定值,不管断裂位置处于何处均为有效”。在高强钢的拉伸试验中,当引伸计标距 L_0 和试样平行长度 L_0 相差过大时,试样断裂位置在引伸计标距 L_0 外且断后伸长率未达到规定值的概率极大。GB/T 228.1-2010中没有对试样断偏后处理方法及机器测量结果修正方法的相关描述。一些学者提出用最大力总延伸率代替断后伸长率,但在高强钢拉伸试验的实际实施过程中,其结果并不理想。为了分析采用机器测量和手工测量两种方法获得断后伸长率的结果差异,笔者设计了以下试验,以分析两者的结果差异,并提出了机器测量断后伸长率的修正方式。通过验证,证实了修正方式的合理性,并对GB/T 228.1-2010修订提出了相应建议。

1 试样制备及试验方法

1.1 试样制备

由于BW300TP耐磨钢在进行拉伸试验时,试样断偏现象较为常见,断后伸长率的机器测量值和手工测量值存在明显差异,所以试验材料选定为BW300TP耐磨钢板。选取某钢铁厂生产的厚度为3.5~4.0 mm的BW300TP耐磨钢板,按照GB/T 228.1-2010的试样制备方法,制备出批量平行长度为75 mm,原始宽度为25 mm,标距为50 mm的纵向矩形截面P14拉伸试样。

1.2 试验设备

试验采用试验室配备的电子式拉伸试验机,力值测量范围为0~600 kN,测量精度为0.5级。引伸计采用接触式全自动纵向引伸计,测量范围为0~200 mm,测量精度为1级。游标卡尺的量程为

0~150 mm,允许误差为 ± 0.02 mm。

1.3 试验方法

试验前先用打点机在拉伸试样平行段内标记出间隔为5 mm的一系列标记点,应保证标记点不会造成引起试样过早断裂的缺陷。将标记好标记点的拉伸试样按照GB/T 228.1-2010的方法B在拉伸试验机上拉伸至断裂,试样的引伸计标距 L_0 和原始标距 L_0 均为50 mm。试验结束后,取下断样,将试样断口对接在一起,且保证其轴线位于同一直线上,然后用游标卡尺手工测量断后标距,计算得到手工测量的断后伸长率,记为 A_{manual} 。拉伸试验机直接输出的断后伸长率为机器测量的断后伸长率,记为 A_{auto} 。

2 试验结果及讨论

从上述试验结果中随机选取20组数据,比对采用机器测量和手工测量方法获得BW300TP耐磨钢拉伸试验断后伸长率见表1。

表1 两种方法测得的断后伸长率

试样编号	A_{auto}	A_{manual}	差值	试样编号	A_{auto}	A_{manual}	差值
1	19.02	22.16	-3.14	11	11.96	14.60	-2.64
2	17.31	20.42	-3.11	12	18.54	19.26	-0.72
3	19.14	22.70	-3.56	13	18.81	20.38	-1.57
4	16.58	18.96	-2.38	14	16.48	19.48	-3.00
5	18.92	21.06	-2.14	15	17.97	19.88	-1.91
6	14.48	16.44	-1.96	16	15.61	18.40	-2.79
7	15.75	17.98	-2.23	17	19.33	21.22	-1.89
8	19.65	22.90	-3.25	18	16.40	18.12	-1.72
9	16.18	17.18	-1.00	19	17.16	19.70	-2.54
10	19.83	23.14	-3.31	20	19.34	21.22	-1.88

由表1可知,机器测量的断后伸长率 A_{auto} 和手工测量的断后伸长率 A_{manual} 的差值均为负值,也就是说手工测量的断后伸长率 A_{manual} 均大于机器测量的断后伸长率 A_{auto} 。产生这种差异的主要原因是这两种测量方法存在明显的不同^[7]。

机器测量断后伸长率时,接触式引伸计选取的原始标距是固定的,试验完毕后,引伸计不会根据试样的断裂位置去调整并选择合适的断后标距。而在实际BW300TP耐磨钢板的拉伸试验中,绝大多数试样均不断裂在引伸计标距的中间位置,此时,由于试样断裂位置的偏移,引伸计所测量出来的原始标距的伸长量 ΔL 就会偏小。机器测量和手工测量的断后标距 L_0 如图1所示。

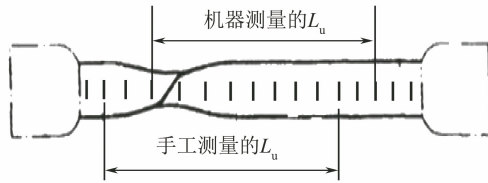


图1 断后标距不同测量方法示意图

Fig.1 Diagram of different measurement methods of gauge length after fracture

手工测量断后伸长率时,由于在试样平行长度内的标记点是套叠的,无论试样断裂在平行段范围内的何处,都可以根据断裂位置手工调整选择合适的断后标距,从而测量出试样在标距范围内最大的原始标距伸长量 ΔL 。手工测量的断后伸长率能更真实地反映出材料的断后伸长率。因此,在BW300TP 耐磨钢板的拉伸试验中,手工测量方法得到的断后伸长率通常会大于机器测量的断后伸长率。

在日常 BW300TP 耐磨钢拉伸试样加工时,可在满足标准前提下,通过缩短平行长度来减小由于试样断裂位置偏移而造成的机器测量断后伸长率的偏差,改善和提高机器测量方式获得该材料断后伸长率的准确性。

3 补偿关系研究

采用机器测量和手工测量方式获得的 BW300TP 耐磨钢板的断后伸长率差异是客观存在的,而在试验室日常断后伸长率检验工作中,直接以机器测量得出结果是不严谨的,若采用手工测量得出结果,其工作量巨大且繁琐。为了提高 BW300TP 耐磨钢板断后伸长率测量的准确性和工作效率,笔者对机器测量和手工测量结果的补偿进行了研究。

为获得机器测量断后伸长率和手工测量断后伸长率之间的补偿关系,需要对大量的试验数据进行统计分析,笔者所在试验室积累了大量的试验数据。对该数据进行线性拟合分析,得到了 BW300TP 耐磨钢板手工测量断后伸长率和机器测量断后伸长率的拟合曲线,如图 2 所示。

由图 2 可知,BW300TP 耐磨钢板的手工测量的断后伸长率与机器测量的断后伸长率有较明显的线性关系。通过拟合分析,得到两种断后伸长率之间的拟合表达式为

$$y = 0.8505x + 5.1838 \quad (1)$$

式中: x 为机器测量的断后伸长率; y 为手工测量的

断后伸长率(即修正值)。

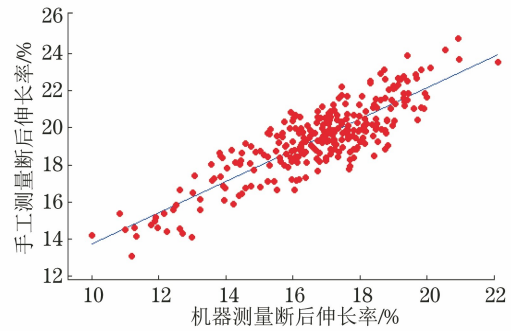


图2 手工测量断后伸长率与机器测量断后伸长率的拟合关系图

Fig.2 Fitting relationship diagram between hand-measured and machine-measured of elongation after fracture

4 修正方式验证

取同等加工条件下的 20 根拉伸试样,编号为 Y1~Y20,对其进行拉伸试验。通过对比手工测量值 A_{mauual} 和按照式(1)计算得到的修正值 A_{count} 及两者的差值,来验证式(1)的合理性,结果见表 2。

表 2 断后伸长率的修正值和手工测量值

Tab.2 Correction values and hand-measured values of elongation after fracture %

试样编号	A_{auto}	A_{mauual}	A_{count}	差值
Y1	17.62	21.72	20.17	1.55
Y2	17.58	19.86	20.14	-0.28
Y3	15.31	19.94	18.20	1.74
Y4	17.07	20.82	19.70	1.12
Y5	18.20	20.22	20.66	-0.44
Y6	14.58	19.14	17.58	1.56
Y7	15.95	18.34	18.75	-0.41
Y8	15.01	18.76	17.95	0.81
Y9	16.27	19.16	19.02	0.14
Y10	18.92	21.06	21.28	-0.22
Y11	16.98	18.24	19.63	-1.39
Y12	17.65	19.88	20.20	-0.32
Y13	16.38	19.28	19.11	0.17
Y14	19.03	20.36	21.37	-1.01
Y15	18.35	20.16	20.79	-0.63
Y16	18.48	20.02	20.90	-0.88
Y17	11.86	14.96	15.27	-0.31
Y18	17.80	19.86	20.32	-0.46
Y19	15.68	19.52	18.52	1.00
Y20	16.94	20.54	19.59	0.95
平均值	—	19.56	19.46	0.10

由表 2 可知,20 根验证试样的人工测量平均值为 19.56%,修正平均值为 19.46%。试样 Y3 的差值最大,为 1.74%,试样 Y10 的最差值小,为 0.14%。20 根验证试样的差值均小于 $\pm 2\%$,满足标准中高强钢再现性相对误差小于 $\pm 13.3\%$ 的要求,即绝对误差小于 2.60% 的要求。

5 结论及建议

通过对比 BW300TP 耐磨钢板机器测量的断后伸长率和手工测量的断后伸长率,证实了机器测量的断后伸长率小于手工测量的断后伸长率,而手工测量的断后伸长率能够更真实地反映 BW300TP 耐磨钢板的断后伸长率。可以通过关系式 $y = 0.8505x + 5.1838$ 可对机器测量的断后伸长率进行修正。

由于高强钢拉伸试样断裂的位置是未知且无规律的,所以在进行试样加工的时候,可以在满足标准的前提下,适当缩短平行长度,试样加工时要确保试样的加工精度和表面粗糙度,以降低由试样断裂位置偏移而造成的机器测量的断后伸长率的偏差。

基于以上试验及分析,提出以下对 GB/T 228.1-2010 的修订建议。

(1) 试样平行长度的修订建议

P7 带头试样的平行长度最小值修改为 60 mm。

取消附录 D 中矩形截面非比例试样平行长度 $L_c \geq L_0 + 1.5\sqrt{S_0}$ 的规定,只保留试样平行长度不

应小于 $L_0 + 1/2b_0$,仲裁时,平行长度为 $L_c = L_0 + 2b_0$ 的相关规定。

(2) 增加机器测量断后伸长率补偿方法的建议

GB/T 228.1-2010 中,未提及对机器测量断后伸长率的补偿和修正的方法。建议开展多试验室间的验证试验,增加不同试验材料对机器测量断后伸长率的修正方法及修正公式。

参考文献:

- [1] 许晓锋,秦长毅,梁明华,等. 高强度管线钢拉伸试验伸长率变化规律研究和分析[J]. 石油管材与仪器, 2017,3(5):27-31.
- [2] 张子富,李美岁,张健康,等. 使用横梁位移测定镀锌的断后伸长率[J]. 理化检验(物理分册), 2018,54(1):15-19.
- [3] 李美岁,张子富,李志年,等. 利用改进的引伸计自动测量镀锌的断后伸长率[J]. 理化检验(物理分册), 2020,56(7):22-25.
- [4] 吴伟,杨宏飞. DC03 冷轧钢板断后伸长率测试结果的影响因素及其不确定度评定[J]. 理化检验(物理分册), 2017,53(5):314-318.
- [5] 姜鸿亮,王晶,孙雪娇,等. 高强钢板拉伸试验断裂位置偏移影响因素[J]. 理化检验(物理分册), 2018,54(2):111-114.
- [6] 李和平,周星. 拉伸试验机自动测量断后伸长率面临的难题和解决办法[J]. 理化检验(物理分册), 2008,44(1):7-10.
- [7] 周志超. 室温拉伸试验断后伸长率测量的探讨[J]. 物理测试, 2016,34(2):29-32.

(上接第 11 页)

以准确执行;方法 B 应用范围最为宽泛,但速率控制要求最低,试验结果的离散度最大。

建议方法 B 名称改为“基于应力速率引导的试验速率控制方法”,方法 A2 名称改为“基于应变速率引导的试验速率控制方法”。通过应力或应变速率的引导,并在屈服前切换成切换点即时速率的方式,可以较好地自适应地解决试验机柔度修正问题。建议开展验证试验,并在新版标准中推荐。

参考文献:

- [1] 余立,李荣锋,涂应宏. 试验机柔度对拉伸试验结果的

影响[J]. 理化检验(物理分册), 2013,49(8):501-504.

- [2] 李和平,周星,徐惟诚,等. GB/T 228.1-2010 中应力速率的三种理解及在宣贯和实施过程中出现的问题[J]. 理化检验(物理分册), 2013,49(8):489-493.
- [3] 高怡斐. GB/T 228.1-2010 中应变速率控制模式(方法 A)的解读[J]. 理化检验(物理分册), 2013,49(8):494-496.
- [4] 孙绍广,于秀娥,苏洪英,等. 拉伸试验速率控制模式及试验速率的选择[J]. 理化检验(物理分册), 2013,49(8):497-500.