

利用改进的引伸计自动测量铍材的断后伸长率

李美岁, 张子富, 李志年, 张健康, 吕一格, 李树荣, 黄旭刚, 代彦明

(西北稀有金属材料研究院宁夏有限公司 稀有金属特种材料国家重点实验室, 石嘴山 753000)

摘要:根据 GB/T 228.1—2010 的技术要求,金属材料断后伸长率的测量方法通常包括人工测量和利用引伸计自动测量两种方法。由于铍材拉伸试验时试验机无法夹持直接购买的标距为 25 mm 的引伸计,为了满足标准对引伸计使用的技术要求,重新设计了引伸计的刀口,并将自动测量结果与人工测量结果进行了比较。结果表明:采用改进后的引伸计可以准确、快速地自动测量铍材试样的断后伸长率。

关键词:铍; 断后伸长率; 引伸计; 刀口; 自动测量; 人工测量

中图分类号: TG806

文献标志码: A

文章编号: 1001-4012(2020)07-0022-04

Automatic Measurement of Percentage Elongation after Fracture of Beryllium Material with Improved Extensometer

LI Meisui, ZHANG Zifu, LI Zhinian, ZHANG Jiankang, LÜ Yige, LI Shurong, HUANG Xugang, DAI Yanming

(State Key Laboratory of Special Rare Metal Materials of Northwest Rare Metal Materials

Research Institute Ningxia Co., Ltd., Shizuishan 753000, China)

Abstract: According to the technical requirements of GB/T 228.1—2010, the test methods of percentage elongation after fracture of metal materials usually include manual measurement and automatic measurement with extensometer. Because the testing machine could not clamp the extensometer with a gauge distance of 25 mm purchased directly during the tensile test of beryllium material, in order to meet the technical requirements of the standard for the use of extensometer, the blade of extensometer was redesigned and the test results were compared with the manual measurement results. The results show that the improved extensometer could be used to measure the percentage elongation after fracture of beryllium samples accurately and rapidly.

Keywords: beryllium; percentage elongation after fracture; extensometer; blade; automatic measurement; manual measurement

金属材料的力学性能中,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。GB/T 228.1—2010《金属材料 拉伸试验 第1部分:室温试验方法》中规定的断后伸长率测试方法有两种,一种是采用人工测量的常规方法,用 25 mm 标距块压住试样两侧,用刻刀轻刻两条平行线,将刻画后的试样放在显微镜下进行测量,计算出

原始标距长度 L_0 。安装试样到试验机上进行拉伸试验直至试样被拉断,根据 ASTM E8:2016a *Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials* 的技术要求,将试样断口配接在一起,使轴线处于同一直线上,测量断后标距长度 L_u ,然后根据公式 $A = (L_u - L_0) / L_0 \times 100\%$,计算出断后伸长率 $A^{[1-3]}$;第二种方法是使用带有引伸计测定断后伸长率功能的试验机,引伸计标距 L_e 应等于试样原始标距 L_0 ,无需标记出试样原始标距。

由于铍材拉伸试验时两夹具间的距离太小,无法直接安装设备原装标距为 25 mm 的引伸计,为了满足 GB/T 228.1—2010 对引伸计使用的技术要求,笔者对引伸计刀口进行了重新设计。但其测量

收稿日期: 2019-10-23

基金项目: 国家自然科学基金(51874246)

作者简介: 李美岁(1987—),女,工程师,主要从事金属材料检测与研究工作,331792980@qq.com

通信作者: 张子富(1987—),男,工程师,主要从事铍及铍合金材料的研究工作,451349572@qq.com

精度尚不清楚,为此笔者采用配备改进引伸计的拉力试验机对断后伸长率进行自动测量试验,并将测量结果与常规人工测量结果进行了对比。

1 试验方法

根据 GB/T 228.1—2010 的技术要求,取直径为 6 mm,抗拉强度为 460~560 MPa 的铍材圆棒试样 78 个,试样标距为 25 mm,试样形状及尺寸如图 1 所示。在 INSTRON 5582 型拉伸试验机上安装改进后的引伸计,改进后的引伸计刀口长度在原有基础上增加了 10 mm,捆绑皮筋用的沟槽加深并

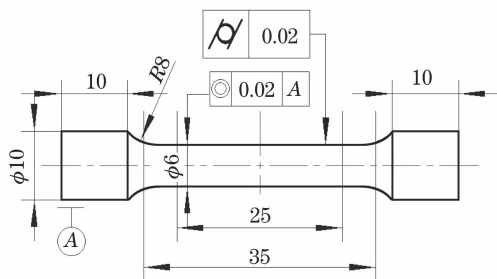


图 1 试样形状和尺寸示意图

Fig.1 Schematic diagram of shape and size of the sample

向前延长,如图 2 所示。引伸计标距 $L_e = L_0 = 25$ mm。在拉伸速度为 $0.2 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ 条件下进行拉伸试验,全程使用引伸计跟踪测量标距内的纵向变形直至试样断裂。同时在试验完成后,采用常规的方法对断后伸长率进行人工测量,并与自动测量的结果进行比较^[4-5]。

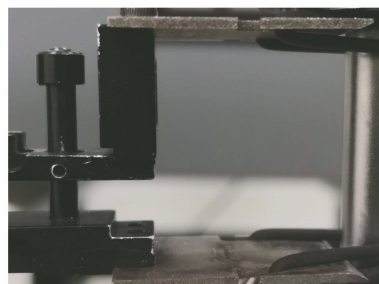


图 2 改进后的引伸计夹持示意图

Fig.2 Schematic diagram of clamping the improved extensometer

2 试验结果

断后伸长率的测量结果如表 1 所示,结合图 3 所示的试样断裂前、后宏观形貌可以看出铍材的断后伸长率较低,属于脆性材料。

表 1 两种方法测得的断后伸长率

Tab.1 The percentage elongation after fracture determining by two methods

试样编号	$A_{25}^{1)}$	$A^{2)}$	绝对误差	试样编号	A_{25}	A	绝对误差
1	6.01	5.61	0.40	27	3.29	3.50	-0.21
2	2.71	3.00	-0.29	28	6.2	6.56	-0.36
3	3.84	4.15	-0.31	29	6.95	6.73	0.22
4	3.41	3.51	-0.1	30	6.13	6.23	-0.1
5	1.37	1.62	-0.25	31	6.47	6.57	-0.1
6	5.08	5.39	-0.31	32	5.89	5.76	0.13
7	5.44	5.52	-0.08	33	6.77	6.98	-0.21
8	5.46	5.49	-0.03	34	4.94	5.16	-0.22
9	6.05	6.20	-0.15	35	3.13	3.26	-0.13
10	6.59	6.58	0.01	36	3.12	3.17	-0.05
11	5.23	5.39	-0.16	37	2.74	3.02	-0.28
12	4.48	4.70	-0.22	38	3.92	3.99	-0.07
13	5.6	5.85	-0.25	39	4.59	4.58	0.01
14	5.64	5.75	-0.11	40	1.37	1.53	-0.16
15	3.52	3.60	-0.08	41	3.21	3.40	-0.19
16	4.88	5.02	-0.14	42	2.14	2.05	0.09
17	5.21	5.20	0.01	43	3.64	3.87	-0.23
18	5.49	5.48	0.01	44	5.07	5.24	-0.17
19	4.91	5.08	-0.17	45	1.31	1.49	-0.18
20	5.77	5.73	0.04	46	4.38	4.64	-0.26
21	2.33	2.46	-0.13	47	5.82	5.73	0.09
22	5.2	5.37	-0.17	48	4.99	5.00	-0.01
23	4.3	4.33	-0.03	49	2.08	2.23	-0.15
24	5.02	5.14	-0.12	50	4.80	5.11	-0.31
25	4.35	4.42	-0.07	51	4.08	4.18	-0.1
26	4.16	4.43	-0.27	52	2.98	3.02	-0.04

续表 1

试样编号	A_{25}	A	绝对误差	试样编号	A_{25}	A	绝对误差
53	3.46	3.71	-0.25	66	5.56	5.58	-0.02
54	4.50	4.68	-0.18	67	5.76	5.74	0.02
55	5.06	5.28	-0.22	68	4.71	4.78	-0.07
56	4.40	4.65	-0.25	69	5.56	5.89	-0.33
57	4.22	4.41	-0.19	70	5.17	5.21	-0.04
58	4.73	5.05	-0.32	71	4.56	4.62	-0.06
59	4.49	4.66	-0.17	72	3.08	3.27	-0.19
60	5.59	5.72	-0.13	73	5.17	5.34	-0.17
61	2.77	2.67	0.1	74	3.88	3.82	0.06
62	2.00	2.13	-0.13	75	3.95	4.20	-0.25
63	5.75	5.99	-0.24	76	5.31	5.55	-0.24
64	1.59	1.70	-0.11	77	5.73	5.95	-0.22
65	4.90	4.90	0	78	5.11	5.23	-0.12

注: 1) A_{25} 为人工测量的断后伸长率; 2) A 为引伸计自动测量的断后伸长率。



图 3 铍材试样断裂前、后的宏观形貌
Fig.3 Macro morphology of beryllium samples before and after fracture

从表 1 可以看出,两种方法测量结果的绝对误差均在 $\pm 0.5\%$ 以内^[6-7],结果非常接近。绝对误差为负值的出现概率为 82%,表明引伸计自动测量的断后伸长率高于人工测量值。最高绝对误差为 -0.36% ,最低绝对误差为 0,误差波动仅 0.36%。

为提高试验结果的可比性,将表 1 数据绘制散点图,如图 4 所示。可见对于同一试样,引伸计自动测量数据普遍高于人工测量值。

由于计算得到的数据会有误差,不能只根据简

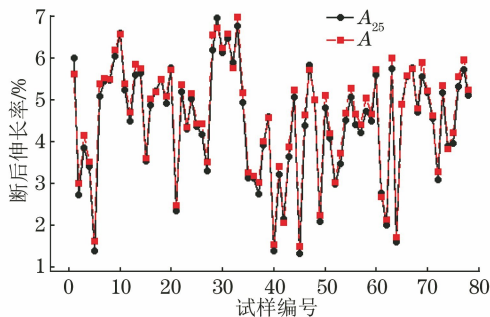


图 4 A_{25} 和 A 的散点图
Fig.4 The scatter plot of A_{25} and A

单的样本统计结果下结论,必须使用严格的统计假设试验方法才能得出准确的判断结论^[8]。为提高试验结果的可比性,了解利用人工测量和引伸计自动测量的断后伸长率是否相同,并得出较准确的判断结果,采用假设试验进行验证。

将检验人工测量的断后伸长率均值与引伸计自动测量的是否相等的两样本均值问题,转化为检验人工测量的断后伸长率与引伸计自动测量的差值的均值是否为 0 的双样本 T 检验。首先做出如下假设。原假设(H_0): $A_{25} - A = 0$, 备择假设(H_1): $A_{25} - A \neq 0$ 。用 MINITAB 软件计算 A_{25} 与 A (数据见表 1)两个总体均值之差的置信区间,来判断来自两个相互独立的总体均值之间是否有显著差异,进行双样本 T 检验^[9]得到 A_{25} 和 A 的单值图和箱体图,如图 5 和图 6 所示,检验结果如表 2 所示。平均差的 95%置信区间: $(-0.549, 0.301)$;平均差 = 0(与 $\neq 0$)的 T 检验: $T = -0.58, P = 0.565$ 。

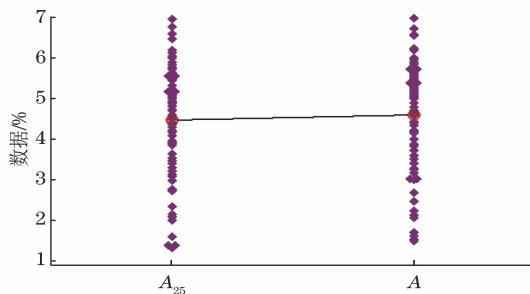


图 5 A_{25} 和 A 的单值图
Fig.5 Single valued graph of A_{25} and A

通过图 5 和图 6 可以看出, A_{25} 和 A 的数据一致性较好,均值连线接近水平。

P 值是指当原假设为真时所得到的样本观察结

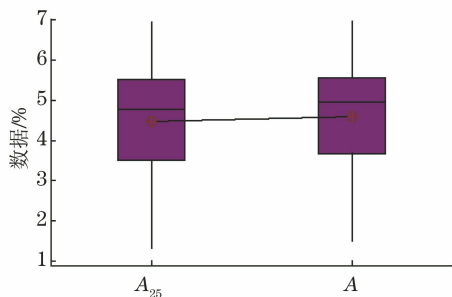


图6 A_{25} 和 A 的箱体图

Fig.6 Boxgraph of A_{25} and A

表2 两种方法测得的断后伸长率配对 T 检验结果

Tab.2 Paired T test results for the percentage elongation after fracture measured by two methods

断后伸长率	样本数 N	平均值/%	标准差/%	平均值标准误差/%
A_{25}	78	4.48	1.35	0.15
A	78	4.60	1.33	0.15

果或更极端结果出现的概率,并由 FISHER R A 首先提出 P 值取 0.05 来表示发生的概率非常小,因此 P 值越大,接受原假设的理由越充分。从 MINITAB 软件分析结果可知, $P=0.565>0.05$,故接受原假设 H_0 ($A_{25}-A=0$),即认为人工测量的断后伸长率 A_{25} 与引伸计自动测量的断后伸长率 A 的均值之差为 0 的假设成立;置信区间为 $(-0.549, 0.301)$,区间包含 0,表示两个总体均值没有明显差异。

3 结论

(1) 利用改进的引伸计自动测量铍材的断后伸长率,可得到准确可靠的结果,可以替代常规的人工测量方法。

(2) 采用引伸计法无需标出试样原始标距,可以减少由于绘制标距所带来的铍粉尘危害;无需使

用显微镜测量标距,可以减少人为误差和眼部疲劳,因此可推荐应用于现场生产检验,有利于减少对试验操作人员的健康损害,降低劳动强度,提高工作效率,在一定程度上可减少检验过程中试验人员操作造成的偶然误差,使断后伸长率的测试更快捷、数据更准确。

(3) 采用改进的引伸计自动测量的断后伸长率值较人工测量的偏高,在试样断后伸长率要求余量较小的情况下,使用引伸计法可能更满足测试要求。

参考文献:

- [1] 叶宏德.对金属材料拉伸试验方法标准的几点思考[J].理化检验(物理分册),2014,50(6):394-395.
- [2] 孙红云.金属材料拉伸试验的影响因素及操作要求[J].现代测量与实验室管理,2008,16(6):27-29.
- [3] 张子富,李美岁,张健康,等.使用横梁位移测定铍材的断后伸长率[J].理化检验(物理分册),2018,54(1):15-19.
- [4] 高怡斐,赵海声,郑建平,等.两种方法测定冷轧薄板应变硬化指数、塑性应变比和伸长率的结果比较[J].理化检验(物理分册),2002,38(10):431-433.
- [5] 汤海芳,王豹,郑翠军,等.Q345R 钢板断后伸长率不合格原因分析[J].理化检验(物理分册),2016,52(4):287-290.
- [6] 王俊.金属材料室温拉伸试验的不确定度的评定[J].理化检验(物理分册),2013,49(7):448-456.
- [7] 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.
- [8] 赵彦玲.质量专业理论与实务(中级)[M].哈尔滨:哈尔滨工程大学出版社,2010.
- [9] 马林,何桢.六西格玛管理[M].北京:中国人民大学出版社,2004.

(上接第 21 页)

参考文献:

- [1] 任英,张立峰,杨文.不锈钢中夹杂物控制综述[J].炼钢,2014,30(1):71-78.
- [2] 王克杰,王洪亮,黄港明,等.洁净钢检测新技术——钢坯镜面加工及全端面检测[J].理化检验(物理分册),2015,51(12):839-844.
- [3] 雷娜,井含文,毛峰.钢中非金属夹杂物的几种检测方法分析[J].冶金信息导刊,2017(5):13-16.
- [4] 吕建刚,肖李鹏.钢中非金属夹杂物及其金相检验[J].理化检验(物理分册),2015,51(4):229-233.
- [5] 马芳,王滨.国内外钢中非金属夹杂物检验标准解析

[J].理化检验(物理分册),2016,52(6):405-408.

- [6] 刘超,郑士健,张波,等.316F 不锈钢中 MnS 夹杂的电子显微学分析[J].电子显微学报,2008,27(4):300-305.
- [7] 张淑兰,许海峰,杜敏,等.扫描电镜测定夹杂物的影响因素探讨[J].冶金分析,2017,37(12):7-14.
- [8] 贾木欣.国外工艺矿物学进展及发展趋势[J].矿冶,2007,16(2):95-99.
- [9] GU Y. Automated scanning electron microscope based mineral liberation analysis an introduction to JKMR/FEI mineral liberation analyser[J]. Journal of Minerals and Materials Characterization and Engineering, 2003,2(1):33-41.