测定冷轧薄板力学性能方法的比较研究

陈镇方,张建军,黄禄璐

(内蒙古包钢钢联股份有限公司技术中心,内蒙古 包头 014010)

摘 要: 文章借助2种不同方法,测定了包钢生产冷轧薄板的屈服强度、抗拉强度、断后伸长率、拉伸应变硬化指数(n)值和塑性应变比(r)值。对2种不同方法得到的实验数据进行比较,结果表明,用光学非接触引伸计自动测量的方法具有较高的可靠性和重现性。

关键词: 冷轧; 薄板; DC04; 力学性能

中图分类号: TG115.5 **文献标识码:** B **文章编号:** 1009-5438(2018)03-0067-03

DOI:10.13647/j.cnki.btgkj.2018.03.017

Comparative Study on Methods for Determining Mechanical Properties of Cold-rolled Sheet

Chen Zhen-fang, Zhang Jian-jun, Huang Lu-lu

(*Technical Center of Inner Mongolia Baotou Steel Union Co., Ltd., Baotou* 014010, *Inner Mongolia Autonomous Region, China*)

Abstract: With the help of two different methods, the yield strength, tensile strength, elongation after fracture, tensile strain hardening exponent (n) value and plastic strain ratio (r) value of cold-rolled sheet produced by Baotou Steel were determined. The experimental data obtained from the two different methods had been compared. The results showed that the method of automatic measurement with an optical non-contact extensometer was with better reliability and reproducibility.

Key words: cold rolling; sheet; DC04; mechanical property

随着汽车工业和家电业的发展,对冷轧钢板的品种质量提出了越来越高的要求,如优良的成型性能、焊接性能、表面形貌和粗糙度等,成型性能尤为重要。力学性能是冷轧薄板成型性能的重要参数。目前,大多数实验室在常规的力学性能测试中,通常采用机械式引伸计(手工装卸)测量试样的变形,手工测量断后伸长率和塑性应变比(r)值。在光学非接触引伸计的全自动电子拉伸试验机上进行屈服强度、抗拉强度、拉伸应变硬化指数(n)值、塑性应变比(r)值、断后伸长率等力学性能参数的自动测量研究,与传统的变形测量中使用的引伸计不同,光学非接触引伸计自动测量的方法具有三维、全场、非接触等优势,可以在大的变形范围及远距离非接触测量中发挥作用,在一般性测量中可以克服引伸计常见的偏心、断标外等问题[1]。本文将2种测试方法作一比较,得出冷轧薄板物理性能测试最佳试验方法。

1 试验材料与方法

选取包钢生产优质冷连轧低碳钢DC04薄板,其化学成分见表1,取0.8 mm厚度的母材,在原板宽度1/4处取横向90°试样,按照GB/T 228.1—2010[2]要求加工一批长250 mm,宽20 mm的标准拉伸试样,试样的具体尺寸如图1所示。

收稿日期: 2018-03-09

作者简介: 陈镇方(1982-),男,辽宁省凌海市人,硕士,工程师,现从事金属材料物理检测工作。

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表 1 试验用冷轧薄板 DC04 化学成分(质量分数) %

Al	C	Mn	Si	P	S	N	Ti
0.042	0.005	0.099	<0.030	0.015 1	0.004	0.002 8	0.053

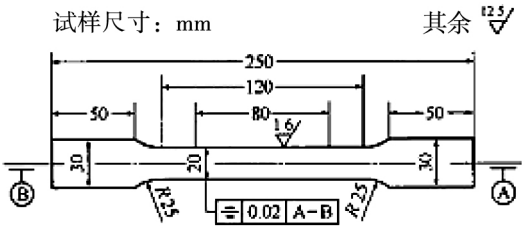


图 1 试样尺寸

试验中纵向引伸计的标距按照产品要求设定为 80 mm，其中光学引伸计能够全程跟踪至断裂，机械引伸计需要在试样断裂前卸下，横向引伸计标距设定为 16 mm。试验的环境温度为(24 ± 2) ℃，空气湿度为 30%。根据 GB/T 5028—2008[3]、GB/T 5027—2007[4] 和 GB/T 228.1—2010[2] 中对试验速度的要求，采用横梁位移速率控制模式，在弹性阶段速度设定为 2 mm/min，塑性至断裂阶段速度设定为 20 mm/min，试验速率均在标准要求的范围内。

方法一使用的是美国 INSTRON5982 试验机，光学非接触引伸计的影像采集随时跟踪试样标距内的四根标记线，同时测量标记线内的纵向变形和横向变形。在测量横向变形时，选择了 7 点平均值(Bluehill2 软件最多可选 20 点)，n 值和 r 值的测量范围是试样变形量的 1% ~20%。对伸长率的计算是自动的，试样拉伸过程中，达到最大负荷之前试样的变形是均匀的，在此阶段跟踪试样的变形，试样的变形集中在缩颈部分，可以用程序自动使用十字头位移来计算试样断后的伸长率。十字头位移分辨率为0.001 mm，有效保证了变形测量的准确性。有时，试样在达到最大负荷之前就超出了光学非接触引伸计的应用范围(只有在试样的断后伸长率非常大时才会发生这种情况，一般情况下，光学非接触引伸计能跟踪试样变形达到 80%)。方法二在 ZWICK Z250 试验机上，用机械引伸计在 1% ~20% 的变形范围内自动测量 n 值，超过 20% 的变形量以后，将试样取下，手工测量三个位置的横向变形，经过计算得到 r 值，输入原始尺寸，自动测量屈服强度及抗拉强度。

试验之前需对光学非接触引伸计的方法进行可行性分析，即同时使用光学非接触引伸计与机械引伸计的方法对被测试样进行应变测量，并对 2 种方法所测结果进行比较及误差分析。通过高速相机对加装引伸计的试样进行图像采集，采集频率为 1 张/s。对试验所得变形量结果进行绘图，如图 2 所示，2 种应变测量方法所得数据相差不大，试验数据真实可靠，说明光学引伸计可以替代机械引伸计。

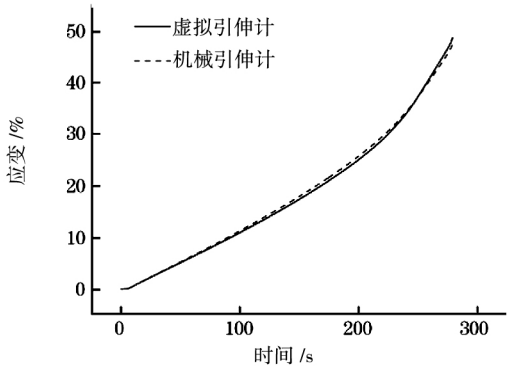


图 2 应变量随时间变化图

2 试验结果与分析

通过对 INSTRON 5982 全自动光学引伸计电子拉伸试验机和 ZWICK Z250 机械引伸计电子拉伸试验机试验比对，采用 2 种方法分别做 8 组 DC04 薄板标准力学拉伸试验，试验结果见表 2、表 3。表 4 为 2 种方法测得的断后伸长率结果对比，表 5 为 2 种方法测得的塑性应变比 r 值结果对比。

表 2 光学引伸计方法试验结果

项目	$R_{p0.2}$ / MPa	R_m / MPa	A_{80} /%	n	r
2-1	153	291	44.5	0.23	2.05
2-2	151	292	44.5	0.22	2.50
2-3	150	290	44.0	0.24	2.05
2-4	155	290	44.0	0.24	2.10
2-5	154	292	44.0	0.22	2.55
2-6	151	293	44.5	0.23	2.15
2-7	151	293	44.0	0.23	2.35
2-8	153	293	44.5	0.23	2.40
平均值	152	291	44.5	0.23	2.30
绝对误差	3	1.25	0.25	0.01	0.28
相对误差/%	1.3	0.4	0.6	4.3	12.4

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表 3　机械引伸计方法试验结果

项目	$R_{p0.2}$ / MPa	R_m / MPa	A_{80} /%	n	r
1 - 1	148	274	44.5	0.230	2.35
1 - 2	148	274	44.5	0.230	2.30
1 - 3	149	276	44.5	0.230	2.00
1 - 4	148	274	45.0	0.230	2.05
1 - 5	148	274	45.0	0.230	1.75
1 - 6	152	282	44.5	0.230	1.85
1 - 7	151	279	44.5	0.220	2.75
1 - 8	150	277	41.5	0.220	1.80
平均值	149	276	44.5	0.230	2.10
绝对误差	3	6	3.0	0.007	0.65
相对误差/%	1.8	2.1	6.2	3.3	30.5

表 4　2 种方法测得的断后伸长率对比　%

试样编号	手工测量后计算断后伸长率 A_{80}	自动测量计算断后伸长率 A_{80}	绝对误差	相对误差
1	44.5	44.5	0	0
2	44.5	44.5	0	0
3	44.5	44.0	0.5	1.14
4	45.0	44.0	1.0	2.27
5	45.0	44.0	1.0	2.27
6	44.5	44.5	0	0
7	44.5	44.0	0.5	1.14
8	41.5	44.5	-3.0	-6.74

表 5　2 种方法测得的塑性应变比 r 值对比

试样编号	手工测量后计算 r 值	自动测量计算 r 值	绝对误差	相对误差/%
1	2.35	2.05	0.30	14.63
2	2.30	2.50	-0.20	-8.00
3	2.00	2.05	-0.05	-2.44
4	2.05	2.10	-0.05	-2.38
5	1.75	2.55	-1.10	-31.37
6	1.85	2.15	-0.60	-13.95
7	2.75	2.35	0.40	17.02
8	1.80	2.40	-0.60	-25.00

由表 2 和表 3 可知，2 种方法得到的屈服强度、抗拉强度、断后伸长率、n 值、r 值的结果存在波动性，但在试验数据允许的波动范围之内，其中数据波动性较大的为断后伸长率和 r 值。引伸计测试位置偏离试样断裂位置会使试验结果产生误差，且测量位置距试样断裂位置越远结果误差越大。为得到最为准确的结果，尽量保证引伸计的测试位置位于试样的断裂位置。机械引伸计的方法很难保证引伸计夹持位置的选择始终位于中心，受试样的弯曲，引伸计与试样打滑的影响，横向和纵向的变形测量误差增大，最终影响测量结果的准确性。光学非接触引伸计的方法可以保证测试位置及结果的准确性。

表 4 将 2 种方法测得的断后伸长率进行对比研究，发现机械引伸计方法测得的断后伸长率波动性较大，与光学非接触引伸计的相对误差为 ± 6.74%。表 5 将 2 种方法得到的塑性应变比 r 值进行对比研究，发现该结果是所有测量值中波动最大的，相对误差为 ± 31.37%，机械引伸计测得 DC04 薄板 r 值的最大值与最小值之差为 1.0，光学引伸计方法测得 r 值的最大值与最小值之差为 0.4。可见光学非接触引伸计方法所得 r 值的稳定性明显优于机械引伸计方法，分析原因可能与横向引伸计的夹持位置有关。在使用机械引伸计测量时，由于无法判断试样的断裂位置，只能将夹持位置尽量选择在试样中部，导致横向引伸计所测位置不一定是试样横向变形最大位置，因此造成试验结果的波动；在使用光学引伸计方法进行测量时，可以选择变形最大的位置添加虚拟引伸计，保证所测位置的均匀性与稳定性，获得更精确的试验结果。另外光学引伸计方法受外界环境影响小、有很好的稳定性，且具有非接触、全场变形跟踪、高效的优势，可以保证分析位置选择的准确，获得较机械引伸计更为准确、稳定的结果。

3　结论

(1) 光学非接触引伸计的方法与机械引伸计的方法相比，测得的断后伸长率、塑性应变比 r 值具有较高的稳定性，可以替代机械引伸计。

(2) 光学非接触引伸计能够解决偏心、断标外等问题，不受引伸计夹持位置和试样弯曲程度的影响，保证测试结果的准确性。

参　考　文　献

[1] 邹宇明. 基于数字图像相关方法的 IF 钢 n 值、r 值测试 [J]. 物理测试，2017，35 (4)：27 - 32.

[2] GB/T 228.1—2010，金属材料 拉伸试验 第 1 部分：室温试验方法 [S].

[3] GB/T 5028—2008，金属材料 薄板和薄带拉伸应变硬化指数(n 值) 的测定 [S].

[4] GB/T 5027—2007，金属材料 薄板和薄带塑性应变比(r 值) 的测定 [S].

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net