齐　彪

（攀钢集团西昌钢钒有限公司）

：　　，　　，　　、　　、
、　　，　　。

：　　；　　；

0

文献表明，冷轧薄板的断面缩减率、冲压开裂、极限深拉比、伸长率是表征材料冲压成型性能的主要指标。同时薄板材的塑性应变比（r 值）又与以上指标有着良好的对应关系：随着 r 值的增加，断面缩减率也明显增加，而冲压开裂率明显降低；r 值越大，汽车专用板材的冲压成型性能越好，极限深拉比越高；同时，伸长率也伴随着 r 值的增大而提高[1]。

攀钢集团西昌钢钒有限公司板材厂在开发 St12 连退板初期，因缺少必要的检测手段未能开展 r 值的有关性能研究，常出现产品冲压性能不稳定，成型性能较差等质量异议。为此，实验室在日常检测时对冷轧薄板 r 值检测结果进行关注并收集了一些数据，并进行分析，为公司高强汽车薄板 r 值的研究创造了必要条件。

1

对试样进行室温拉伸试验，测试制定塑性应变水平下长度和宽度变化，应变水平应超过屈服延伸阶段，并低于最大力时的塑性应变量。在单轴拉伸应力作用下，试样宽度方向真实塑性应变和厚度方向真实塑性应变的比为 r 值。即：

$$r=\varepsilon_b/\varepsilon_a \tag{1}$$

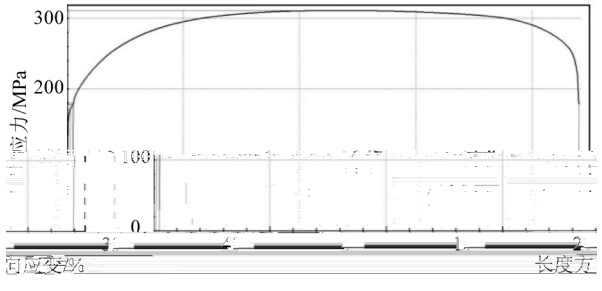
式中，$\varepsilon_b=\ln(b/b_0)$，为宽度方向真实塑性应变；$\varepsilon_a=\ln(a/a_0)$，为厚度方向真实塑性应变。由于长度的变形量比厚度的变形量测量更容易、更精确，在塑性变形深长量不超过最大力对应的塑性伸长量 A_g 范围内，由体积不变原理得到下式计算 r 值。

$$r=\ln(b/b_0)/\ln(b_0/Lb) \tag{2}$$

式中 L 为试样进行制定应变后的标距、b 为试样进行制定应变后的宽度、L_0 为试样原始标距、b_0 为试样原始宽度[2]。

2

试验采用单轴拉伸试样方法，检测设备为 Zwick100KN 全自动拉伸试验机，使用自动横向、纵向引伸计对试样宽度、长度方向的应变进行测量，并自动绘制材料的应力—应变曲线，见图 1、2。在均匀塑性变形阶段下，根据引伸计采集到的试样达到规定应变下数据，利用 r 值计算模型及相关公式，自动计算出不同应变下的 r 值，以评价材料的成型性能。



1　　—

3

笔者重点从以下不同试验方法、不同试样类型、不同取样方向对塑性应变比的测定影响程度进行分析。

3.1　试验方法对测定结果的影响

《GB/T5027—2016 金属材料 薄板和薄带 塑性应变比（r 值）的测定》中对方法 A 进行了规定：采

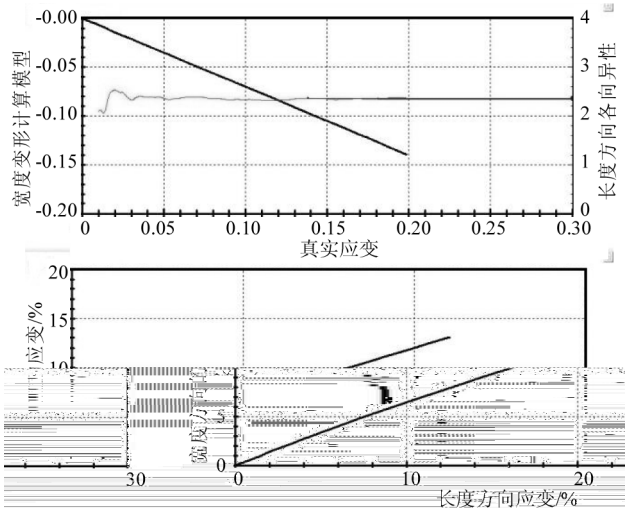
用“真实塑性应变”,需要将弹性应变从真实应变中扣除;同时,新增加了方法 B:采用近似计算“真实塑性应变”,无需将弹性应变从真实应变中扣除。

随机选取 9 张钢种为 ST12 的不同宽度、不同厚度的样板,每张样板在板宽相同位置沿轧向连续取样 2 个,分别采用 GB/T5027—2016 中方法 A、方法 B 进行检测,对 r 值进行对比分析,其影响趋势见表 1。

由表 1 可知,采用 St12 样板检测时,GB/T5027—2016 中方法 A 与方法 B 检测的 r 值结果差异在±0.05,差异较小,没有明显规律性。方法 A 与方法 B 对 r 值检测结果的影响较小,可以忽略。

3.2　试样类型对测定结果的影响

通常情况下,冷轧薄板塑性应变比测定采用的拉伸试样为 GB/T228.1—2010 表 2 规定的 P5、P6、P7 三种[3]。因此,选取钢种为 St12 的 9 张不同宽度、不同厚度的样板,每张样板分别加工成 P5、P6、P7 三种类型的试样(试样宽度分别为:12.5、20、25 mm),并采用 GB/T5027—2016 方法 A 进行塑性应变比测定,检测结果见表 2。



2

1　　r

		/mm×mm	r_{15}		
			A	B	A− B
L2016122793	X16B103763000	1.0×1 000	1.75	1.80	−0.05
L2016122794	X16B103524000	0.9×1 000	1.80	1.85	−0.05
L2016122798	X16B103521000	0.7×1 000	1.85	1.80	0.05
L2016122799	X16B103474000	0.8×1 000	2.20	2.15	0.05
L2016122800	X16B103522000	0.8×1 000	1.70	1.70	0.00
L2016122801	X16B102352000	1.0×915	1.95	2.00	−0.05
L2016122803	X16B103383000	1.0×915	1.85	1.90	−0.05
L2016122804	X16B103381000	0.8×915	1.90	1.85	0.05
L2016122805	X16B103380000	0.6×930	1.65		

2　　r

	/mm×mm	r_{15}		
		P5	P6	P7
X16B101506000	0.9×1 250	1.65	1.5	2.05
X16B102231000	1.4×1 250	1.7	1.75	2.2
X16B102355000	1.0×1 500	1.6	1.9	2.15
X16B102210000	1.0×1 500	1.65	1.7	2.1
X16B102209000	1.1×1 500	1.6	1.7	2.25
X16B102791000	0.8×1 500	1.85	2	2.5
X16B102785000	1.1×1 550	2.25	2.35	2.7
X16B103006000	1.2×1 500	1.7	1.8	2.15
X16B102825000	1.5×1 350	2	2.1	2.35

由表 2 可知,在相同试验条件下检测结果规律性明显:三种试样类型中 P5 试样塑性应变比检测结果最低,P7 试样塑性应变比检测结果最高,P6 试样塑性应变比检测结果居中。经统计分析,P7 试样较 P6 试样偏高约 0.45,P6 试样较 P5 试样偏高约 0.12。P5、P6、P7 三种试样类型对 r 值的影响较大。

3.3　取样方向对 r 值的影响

随着汽车板的运用及发展,塑性应变比测定时,对试样取样方向也在不断变化。通常,对试样取样方向的要求集中在 0°、45°、90°三个方向。选取 9 张不同宽度、不同厚度的样板,在板宽相同位置沿轧制方向分别取 0°、45°、90°三个方向的试样,检测结果见表 3。

由表 3 可知,采用 St12 样板检测时,0°、45°、90°三个取样方向对 r 值的影响较大,90°取样方向 r 值检测结果最高、0°取样方向 r 值检测结果居中、45°取样方向 r 值检测结果最小。

3.4　变形量对测定结果的影响

根据《GB/T5027—2016 金属材料 薄板和薄带塑性应变比(r 值)的测定》,试验报告还需包含塑性应变比测定时对应的塑性应变。为衡量不同变形量对塑性应变比测定结果的影响,选取 9 张不同宽度、不同厚度的样板,每张样板在相同板宽位置沿轧向连续取样 6 个,均加工成 P6 试样,分别开展变形量 r 值分别为 4%、6%、8%、10%、15%、20%的塑性应变比测定,检测结果见表 4。

3 0°、45°、90°

		/mm×mm	r_{15}		
			0°	45°	90°
L2016124499	X16B107356000	1.75×1 250	1.9	1.9	2.23
L2016124434	X16B105536000	0.6×1 000	1.88	1.46	2.33
L2016124488	X16B107227000	1.0×1 000	1.95	1.58	2.43
L2016124387	X16B106991000	1.2×1 250	1.88	1.51	2.33
L2016114365	X16B100590000	1.5×1 233	2	1.65	2.3
L2016114353	X16B100570000	0.9×1 250	2.05	1.8	2.55
L2016113972	X16B100221000	1.1×1 250	1.9	1.8	2.4
L2016113485	X16B099654000	1.5×1 350	2.15	1.86	2.6
L2016113562	X16B099666000	1.2×1 250	1.95	1.7	2.35

4

		/mm×mm	r_4	r_6	r_8	r_{10}	r_{15}	r_{20}
L2016113563	X16B099671000	0.8×1 230	1.944	1.971	1.978	1.992	1.971	1.035
L2016113647	X16B098269000	0.6×1 210	1.711	1.755	1.774	1.768	1.705	1.023
L2016113640	X16B095313000	1.2×1 500	1.628	1.779	1.834	1.829	1.765	0.987
L2016113571	X16B099670000	1.0×1 000	1.874	1.902	1.914	1.935	1.804	1.102
L2016113569	X16B099668000	1.5×1 350	1.987	2.078	2.103	2.125	1.847	1.398
L2016113548	X16B099684000	0.8×935	1.654	1.723	1.886	1.912	1.689	0.997
L2016113730	X16B099648000	1.1×1 250	1.948	1.982	1.997	2.118	1.968	1.034
L2016113583	X16B099711000	1.2×1 145	1.912	1.945	1.984	1.972	1.886	1.109
L2016113629	X16B099716000	1.0×1 000	1.781	1.792	1.803	1.819	1.743	1.227

对表 4 数据进行分析可知,r 值随着变形量增加逐渐增大,变形量约在 8%~10%的时候,r 值达到最大值,然后随着变形量的增加 r 值开始逐渐减小;在变形量达到 15%时,r 值降幅不大,当变形量到达 20%时,r 值急剧降低,降幅约为最大值的 45%。不同变形量对 r 值影响显著。

4

1)GB/T5027—2016 方法 A 与方法 B 对 r 值检测结果的影响较小,可以忽略。

2)GB/T228.1—2010 表 B.2 中 P5、P6、P7 三种试样类型对 r 值的影响较大。P7 试样 r 值结果偏高;P5 试样、P6 试样存在一定差异,但差异不大。

3)0°、45°、90°三个取样方向对 r 值的影响显著。90°取样方向 r 值检测结果最高、0°取样方向 r 值检测结果居中、45°取样方向 r 值检测结果最小。

4)不同变形量对 r 值影响显著。初始时,r 值随着变形量增加,逐渐增大,变形量约在 8%~10%的时候,r 值达到最大值,然后随着变形量的增加 r 值开始逐渐减小;在变形量达到 15%时,r 值降幅不大,当变形量到达 20%时,r 值急剧降低,降幅约为最大值的 45%。不同变形量对 r 值影响显著。

[1] . [J]. ,2003,39(1):39-42.
[2] GB/T 5027-2016. (r) [S].
[3] GB/T 228.1-2010. 1 : [S].

编辑 邓淑惠
收稿日期:2018-04-02