



中华人民共和国国家标准

GB/T 15825.4—2008
代替 GB/T 15825.4—1995

金属薄板成形性能与试验方法 第4部分：扩孔试验

Sheet metal formability and test methods—
Part 4: Hole expanding test

2008-12-23 发布

2009-06-01 实施

中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局
中国国家标准化管理委员会 发布

目 次

前言	Ⅲ
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 符号、名称和单位	1
5 试验原理	2
6 试验装置	3
7 试样	3
8 试验条件	4
9 试验操作和步骤	4
10 试验计算	5
11 试验报告	5
附录 A(规范性附录) 圆柱凸模扩孔试验	6

前 言

GB/T 15825《金属薄板成形性能与试验方法》分为 8 个部分：

- 第 1 部分：成形性能和指标；
- 第 2 部分：通用试验规程；
- 第 3 部分：拉深与拉深载荷试验；
- 第 4 部分：扩孔试验；
- 第 5 部分：弯曲试验；
- 第 6 部分：锥杯试验；
- 第 7 部分：凸耳试验；
- 第 8 部分：成形极限图 (FLD) 测定指南。

本部分是 GB/T 15825 的第 4 部分。

本部分代替 GB/T 15825.4—1995《金属薄板成形性能与试验方法 扩孔试验》。

本部分参考 ISO/TS 16630:2003《金属材料 扩孔试验方法》(英文版)。

本部分与 GB/T 15825.4—1995 相比,主要变化如下：

- 增加了“前言”；
- 将原标准技术规定作为本部分的附录 A；
- 在附录 A 中,将原标准中的符号 d_t 、 D_0 、 L_0 、 d_{tmax} 、 d_{tmin} 分别修改为 D_h 、 d_s 、 l_s 、 D_{hmax} 、 D_{hmin} ,并对名称进行了适当的修改；
- 相对于原标准,在附录 A 中增加了 A.6.4。

本部分的附录 A 为规范性附录。

本部分由中国机械工业联合会提出。

本部分由全国锻压标准化技术委员会归口。

本部分起草单位：郑州大学、武汉理工大学、东风汽车模具冲压有限公司、华中科技大学、北京航空航天大学、宝山钢铁股份有限公司。

本部分主要起草人：曹宏深、姜奎华、华林、黄尚宇、毛华杰、李建华、李志刚、李晓星、陈新平。

本部分所代替标准的历次版本发布情况为：

- GB/T 15825.4—1995。

金属薄板成形性能与试验方法

第4部分:扩孔试验

1 范围

GB/T 15825 的本部分规定了以扩孔率为指标的金属薄板扩孔成形性能试验方法,适用于厚度 1.2 mm~6.0 mm 的金属板、卷料,所用试样宽度一般不应小于 90 mm。

注:扩孔率可以采用锥形凸模、圆柱凸模等进行扩孔试验测定,使用圆柱凸模的扩孔试验方法见附录 A。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过 GB/T 15825 的本部分的引用而成为本部分的条款。凡是注日期的引用文件,其随后所有的修改单(不包括勘误的内容)或修订版均不适用于本部分。然而,鼓励根据本部分达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件,其最新版本适用于本部分。

GB/T 19764 优先数和优先数化整值系列的选用指南(GB/T 19764—2005,ISO 497:1973,IDT)

GB/T 15825.2—2008 金属薄板成形性能与试验方法 第2部分:通用试验规程

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本部分。

3.1

极限扩孔率 limiting hole expansion ratio

使用凸模对试样上的冲制圆孔进行扩孔试验,并在孔缘(竖缘)发生开裂时测量和计算的扩孔变形量。

3.2

相对间隙 relative clearance

冲制试样圆孔所用凸模和凹模之间的间隙与试样厚度的比值。

4 符号、名称和单位

符号、名称和单位见表 1。

表 1

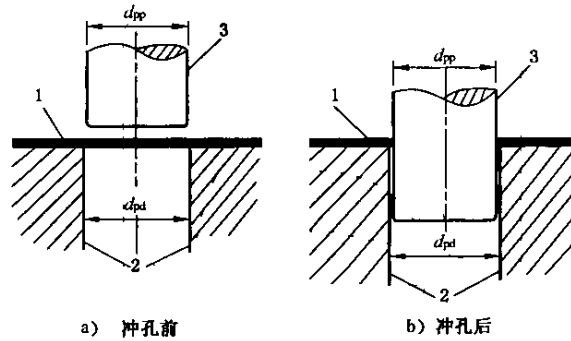
符号	名 称	单 位
c	相对单边间隙	%
d_{pd}	冲制试样圆孔所用凹模的内径	mm
d_{pp}	冲制试样圆孔所用凸模的直径	mm
D_d	扩孔凹模的内径	mm
D_b	孔缘(竖缘)开裂时的圆孔直径	mm
D_0	试样上冲制圆孔的原始直径	mm
d_p	扩孔凸模的直径	mm

表 1 (续)

符号	名称	单位
F_c	压边力	N
r_d	扩孔凹模的圆角半径	mm
t	试样厚度	mm
λ	极限扩孔率	%
$\bar{\lambda}$	平均极限扩孔率	%

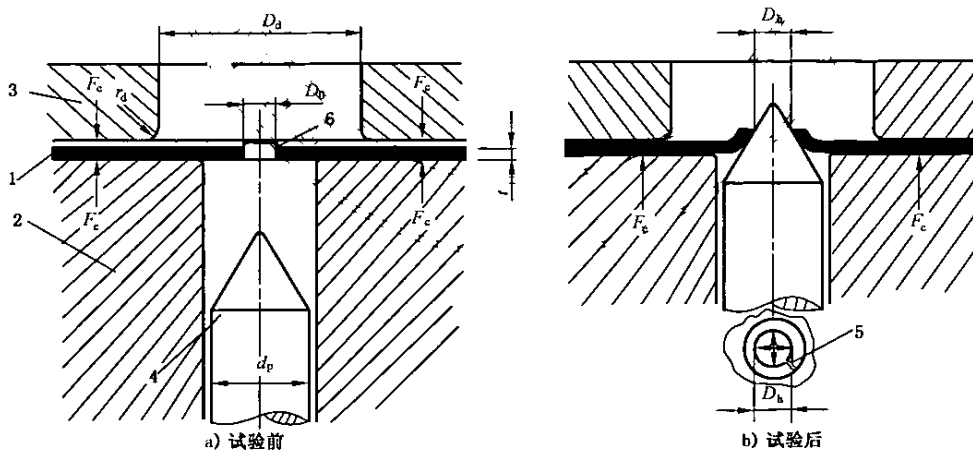
5 试验原理

扩孔试验包括冲制试样圆孔和利用锥头凸模压入冲制圆孔两个步骤,即冲孔完毕后,锥头凸模压入冲制圆孔并由试验机对其加力,直至圆孔在凸模作用下孔缘(竖缘)发生开裂停止试验。图 1 为冲制圆孔的示意图,图 2 为扩孔示意图。



- 1—试样;
- 2—凹模;
- 3—凸模。

图 1 冲孔



- 1—试样;
- 2—压边圈;
- 3—凹模;
- 4—锥头凸模;
- 5—孔缘裂纹;
- 6—冲孔毛刺。

图 2 扩孔试验

6 试验装置

6.1 试验机

试验机应能夹持、压牢试样,并对试样具有定位功能。试样孔缘(竖缘)一旦发生开裂,试验机应能实时停机并避免停机惯性力破坏试样孔缘(竖缘)开裂瞬间的孔径尺寸。

试验机还应对扩孔试验所用模具(凸模或凹模)的位移运动具有控制作用。

注:扩孔试验既可使用专用试验机,也可使用其他任何能够满足上述要求的压力机或试验机。

6.2 试验模具

6.2.1 扩孔试验用模具(凸模和凹模)见图 2。

6.2.2 扩孔试验用凸模头部锥度为 $60^\circ \pm 1^\circ$,凸模的圆柱直径 d_p 应保证能将试样上的圆孔孔缘胀裂。

6.2.3 扩孔试验用凹模内径 D_d 应根据预估的极限扩孔率来选择,其数值不应小于 40 mm。

6.2.4 扩孔试验用凹模的圆角半径 r_d 可取 2 mm~20 mm,推荐使用 5 mm。

6.2.5 扩孔试验用模具(凸模和凹模)的硬度不应小于 55 HRC。

6.2.6 模具设计制造的其他要求按 GB/T 15825.2—2008 中 4.1.1 和 4.1.3 的规定,模具使用准备按 GB/T 15825.2—2008 中 4.2 的规定。

7 试样

7.1 每次试验应从同一材料样品上取 3 个或 3 个以上的试样。

7.2 试样应平直无翘曲。试样上的冲制圆孔中心距离试样任一边缘的尺寸通常不应小于 45 mm,如果采用条状试样,则试样上相邻的冲制圆孔中心距通常不应小于 90 mm。对于宽度不能满足以上边缘尺寸要求的窄试样或窄条试样,其冲制圆孔的中心应位于试样的宽度中心部位,相邻的冲制圆孔中心距应大于试样宽度。

7.3 试样上的冲制圆孔直径为 10 mm,应把此圆孔冲制在试样的中心部位。

7.4 冲制试样上的圆孔时,冲孔凸、凹模之间的相对单边间隙 c 按式(1)计算,并把计算结果按表 2 要求加放到凹模内径 d_{pd} 。如果需要根据材料厚度变化设计系列冲孔模具,以凸模尺寸为基准,通过加放冲孔间隙,并以 0.1 mm 为级差,递增或递减凹模内径 d_{pd} 的系列设计数值。冲孔凹模内径在满足 7.2 和 7.3 的要求下,可参考表 3 选用示例。

$$c = \frac{d_{pd} - d_{pp}}{2t} \times 100 \dots\dots\dots(1)$$

式中:

- c — 相对单边间隙,单位为百分数(%);
- d_{pd} — 冲制试样圆孔所用凹模的内径,单位为毫米(mm);
- d_{pp} — 冲制试样圆孔所用凸模的直径,单位为毫米(mm);
- t — 金属薄板的厚度,单位为毫米(mm)。

表 2 冲孔许用的相对单边间隙

金属薄板厚度 t / mm	相对单边间隙 c / %
$t < 2$	12 ± 2
$t \geq 2$	12 ± 1

表3 冲孔凹模内径选用示例

单位为毫米

金属薄板厚度 t	冲孔凹模内径 d_{pd}
$1.2 \leq t < 1.5$	10.3
$1.5 \leq t < 1.9$	10.4
$1.9 \leq t < 2.3$	10.5
$2.3 \leq t < 2.7$	10.6
$2.7 \leq t < 3.1$	10.7
$3.1 \leq t < 3.6$	10.8
$3.6 \leq t < 4.0$	10.9
$4.0 \leq t < 4.4$	11.0
$4.4 \leq t < 4.8$	11.1
$4.8 \leq t < 5.2$	11.2
$5.2 \leq t < 5.7$	11.3
$5.7 \leq t < 6.0$	11.4

7.5 冲孔模具的制造公差应符合表4规定。

表4 冲孔模具的制造公差

单位为毫米

项目	尺寸与公差
冲孔凸模直径 d_{pp}	$10 \pm \begin{smallmatrix} 0.02 \\ 0.03 \end{smallmatrix}$
冲孔凹模内径 d_{pd}	$d_{pd} \begin{smallmatrix} +0.03 \\ -0.02 \end{smallmatrix}$
^a d_{pd} 为表3中数值。	

7.6 试样准备的其他要求按 GB/T 15825.2—2008 中第3章的规定,并记录试样的实测厚度。

8 试验条件

通常在 10 °C ~ 35 °C 环境温度下进行试验,如有必要环境温度可设置为 23 °C ± 5 °C。

9 试验操作和步骤

9.1 至少进行3次有效重复试验。

9.2 安放试样时,应将其冲制圆孔的毛刺边缘朝向凹模孔(图2),并保证圆孔中心与锥头凸模轴线对中且要求试样的板面与锥头凸模运动方向垂直。

9.3 使用压边圈把试样压牢,以防止扩孔试验过程中压边圈下方的材料发生变形流动。

注:压边力大小与试样尺寸有关,例如对于 150 mm × 150 mm 的试样,压边力不应小于 50 kN。如果压边圈下方的试样材料发生变形流动,试验无效。

9.4 启动试验机把锥头凸模压入试样上的圆孔,锥头凸模运动速度不应大于 1 mm/s。

9.5

观察到试样孔缘(竖缘)即将发生开裂的征兆,应立即减慢锥头凸模运动速度,以准确捕捉试样孔缘(竖缘)发生开裂的瞬间时刻,即保证试验停机时,试样孔缘(竖缘)变形状态恰处于开裂时刻。

9.6 发现试样孔缘(竖缘)发生开裂,立即停机,打开模具取出试样,使用合适的量具且避开裂纹从两个相互垂直的方向测量已经开裂的试样孔径 D_k [参见图 2b)],测量精度应达到 0.05 mm。

注:对于某些品种或等级的金属薄板,当锥头凸模的圆柱部分压入试样圆孔后,若孔缘(竖缘)仍未发生开裂,则试验无效,需加大锥头凸模的圆柱直径继续试验,对此要求试验装置具有更换凸模的结构或机构、且同时具有多

种直径规格的锥头凸模备用。此外,经试验委托和承接双方协商同意,也可对试样采用减小冲孔直径的方法解决这一问题。

10 试验计算

10.1 按 10.2~10.4 规定计算极限扩孔率 λ 。

10.2 按 9.6 测量的试样两处孔径计算其平均值。

10.3 对每一次重复试验均计算出试样孔缘(竖缘)开裂时的孔径平均值,计算结果精确到 0.01 mm;使用每次重复试验计算出的孔径平均值,按式(2)分别计算它们的极限扩孔率。

$$\lambda = \frac{D_h - D_0}{D_0} \times 100 \quad \dots\dots\dots(2)$$

式中:

λ ——极限扩孔率,单位为百分数(%);

D_0 ——试样上冲制圆孔的原始直径,单位为毫米(mm);

D_h ——试样孔缘(竖缘)开裂时的圆孔直径,单位为毫米(mm)。

10.4 取所有重复试验的 λ 计算平均极限扩孔率 $\bar{\lambda}$,并按 GB/T 19764 修约计算结果。

11 试验报告

试验报告应包括以下主要内容:

- a) 试验方法;
- b) 试样的牌号、规格和状态;
- c) 试样厚度;
- d) 环境温度;
- e) 试验结果(极限扩孔率);
- f) 与本部分规定不符的或变异的技术内容(应获试验委托和承接双方协议认可)。

附 录 A
(规范性附录)
圆柱凸模扩孔试验

A.1 范围

以下规定适用于厚度 0.20 mm~4.00 mm 的金属薄板使用圆柱凸模进行扩孔试验的方法。

A.2 符号、名称和单位

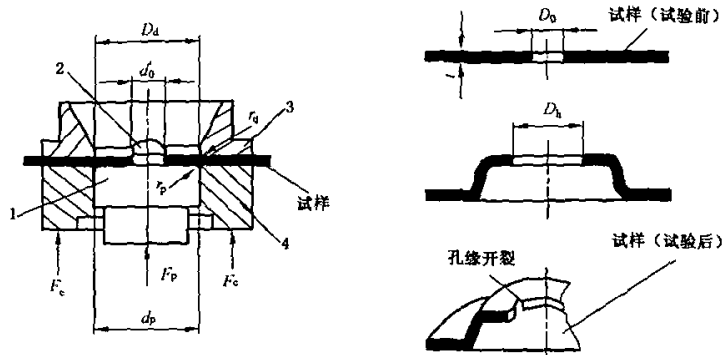
符号、名称和单位见表 A.1。

表 A.1

符号	名 称	单 位
λ	极限扩孔率	%
D_d	凹模内径	mm
d'_0	导销直径	mm
r_d	凹模圆角半径	mm
r_p	凸模圆角半径	mm
F_c	压边力	N
F_p	凸模力	N
d_p	凸模直径	mm
D_0	试样上预制圆孔的初始直径	mm
t	试样厚度	mm
D_h	试样孔缘开裂时的圆孔直径	mm
d_s	试样直径	mm
l_s	试样边长	mm
D_{\max}	孔缘开裂时孔径的最大值	mm
D_{\min}	孔缘开裂时孔径的最小值	mm
\bar{D}_h	预制圆孔胀裂后的平均直径	mm
$\bar{\lambda}$	平均极限扩孔率	%
n	重复试验的次数	
i	各次试验得到的极限扩孔率角标, $i=1,2,3,\dots$	

A.3 试验原理

试验时,将中心带有预制圆孔的试样置于凹模与压边圈之间压牢,启动凸模运动并将其下方的试样材料压入凹模,迫使预制圆孔直径不断胀大(图 A.1),直至孔缘局部发生开裂停止凸模运动测量试样孔径的最大值和最小值,用它们计算极限扩孔率 λ 作为金属薄板的扩孔性能指标。



- 1—凸模；
2—导销；
3—凹模；
4—压边圈。

图 A.1 圆柱凸模扩孔试验

A.4 试样

A.4.1 试样形状可为圆形或方形，其直径或边长按表 A.2 规定。

表 A.2 试样与模具尺寸

单位为毫米

试样厚度 t	凸模		凹模		导销直径 d'_0	预制圆孔 初始直径 D_0	圆形试样 直径 d_s	方形试样 边长 l_s
	直径 d_p	圆角半径 r_p	内径 D_d	圆角半径 r_d				
0.20~1.00	$25_{-0.05}^0$	3 ± 0.1	$27_{+0.05}^0$	1 ± 0.1	$7.50_{-0.05}^0$ $6.25_{-0.05}^0$ $5.00_{-0.05}^0$	$7.50_{+0.05}^0$ $6.25_{+0.05}^0$ $5.00_{+0.05}^0$	$\geq 45 \sim 70$	
>1.00~2.00	$40_{-0.05}^0$	5 ± 0.1	$44_{+0.05}^0$	1 ± 0.1	$12.0_{-0.05}^0$ $10_{-0.05}^0$ $8.0_{-0.05}^0$	$12.0_{+0.05}^0$ $10.0_{+0.05}^0$ $8.0_{+0.05}^0$	$\geq 70 \sim 100$	
>2.00~4.00	$55_{-0.05}^0$	8 ± 0.1	$63_{+0.05}^0$	1 ± 0.1	$16.5_{-0.05}^0$	$16.5_{+0.05}^0$	≥ 100	

注：预制圆孔初始直径优先取大值，当孔缘不发生开裂时，按表中数值依次取较小值并更换与其相应的导销。

A.4.2 根据表 A.2，按 GB/T 15825.2—2008 中第 3 章的规定准备试样，并记录试样的实测厚度。

A.5 模具

A.5.1 凸模和凹模的工作尺寸按表 A.2 规定。

A.5.2 凸模上的圆柱导销头部需设计为半球状或抛物线状(图 A.1)，圆柱部分直径按表 2 选择，高度应大于试样厚度。

A.5.3 按 GB/T 15825.2—2008 中 4.1 的规定准备模具。

A.6 试验条件

A.6.1 润滑

按 GB/T 15825.2—2008 中第 6 章 的规定，推荐使用 2 号、3 号和 4 号润滑剂对试样进行润滑。

A.6.2 压边力

A.6.2.1 推荐采用 10 kN 压边力,并在试验过程中保持恒定,如果出现压边圈不能压牢试样的现象,需适当加大压边力数值,但应在试验报告中说明。

A.6.2.2 重复试验时压边力的偏差不大于±5%。

A.6.3 试验速度

允许试验速度(凸模运动速度)在 0.8×10^{-4} m/s~ 3.3×10^{-4} m/s 范围选择和调整,试验快结束时,可将速度减慢到下限值附近,以便准确捕捉预制圆孔开裂的瞬间。

A.6.4 试验温度

通常可在 10 ℃~35 ℃ 环境温度下进行试验,如有必要环境温度可设置为 23 ℃±5 ℃。

A.7 试验装置与试验机

A.7.1 试验装置

按 GB/T 15825.2—2008 中 5.1 的规定准备试验装置,并要求满足以下技术条件:

- a) 试验装置应能对试样定位,试样中心与凸模中心线的偏差不大于凸模直径的 1%;
- b) 在工作行程内,凸模和凹模中心线应重合,其偏差不大于 0.1 mm;
- c) 凹模工作面与压边圈工作面之间的平行度不超过 0.05 mm。

A.7.2 试验机

按 GB/T 15825.2—2008 中 5.2 的规定准备试验机,并要求满足以下技术条件:

- a) 试验机应保证扩孔试验所需的变形力,推荐试验机能够提供 60 kN 以上的压力;
- b) 试验机应能对试样提供可靠的压边力,推荐试验机能够提供 20 kN 以上的压边力;
- c) 试验机应具备迅速灵敏的停机装置。

A.8 试验程序 and 操作方法

A.8.1 按表 A.2 选择试验模具。

A.8.2 按 GB/T 15825.2—2008 中 4.2、5.1.2、5.2.2、5.2.3 的规定,对试验装置和试验机进行清洗、检查和润滑。

A.8.3 进行预试验。

A.8.4 将试样通过预制圆孔和导销套放在凸模顶端,施加压边力后启动凸模运动进行扩孔试验,至观察到孔缘上任何一处发生开裂时立即停机,取出试样。套放试样时应注意以下要求:

- a) 使用 4 号润滑剂时应将粘敷有聚乙烯薄膜的试样表面和凸模顶端面贴合;
- b) 如果试样上预制圆孔为冲裁加工,应将冲孔毛刺朝向凹模(与正文图 2 情况相似)。

A.8.5 测量试样孔径时,应避开孔缘上的局部裂纹,分别测出孔径的最大值 D_{\max} 和最小值 D_{\min} ,测量精确到 0.05 mm。

A.8.6 对于同种材料进行 10 次有效重复试验。

A.8.7 出现下述任一情况试验无效:

- a) 预制圆孔胀大后,明显偏离试样中心;
- b) 试样起皱;
- c) 孔缘裂纹沿试样边缘缺陷或伤痕方向发展。

A.9 试验计算

A.9.1 按式(A.1)计算孔缘开裂时的平均直径,计算结束保留一位小数。

$$\bar{D}_h = \frac{1}{2}(D_{\max} + D_{\min}) \quad \dots\dots\dots (A.1)$$

A.9.2 按式(A.2)计算极限扩孔率 λ 。

$$\lambda = \frac{\bar{D}_h - D_0}{D_0} \times 100 \quad \dots\dots\dots (A.2)$$

A.9.3 按式(A.3)计算平均极限扩孔率 $\bar{\lambda}$ 。

$$\bar{\lambda} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \lambda_i \quad \dots\dots\dots (A.3)$$

注：试验结果分散性比较大时，允许计算时除去两个数值过大的试验结果。

A.9.4 对式(A.2)和式(A.3)计算的计算结果均修约到1%的整数倍。

A.10 试验报告

A.10.1 试验报告格式自行设计。

A.10.2 试验报告应包括以下主要内容：

- a) 试验材料的规格、牌号和状态；
- b) 试样实测厚度；
- c) 试验方法；
- d) 试样：包括试样直径(或边长)、预制圆孔初始直径；
- e) 模具：包括凸模直径、凹模内径、导销直径，以及凸模、凹模、导销和压边圈的材料及硬度；
- f) 试验条件：包括试样的润滑剂、润滑方法、压边力、试验速度和室温状态等；
- g) 试验记录和计算结果：包括试样孔缘开裂时的孔径最大值、最小值、平均值，以及每个试样的极限扩孔率和所有试样的平均极限扩孔率等；
- h) 试验日期。