

# 中华人民共和国国家标准

## 金属薄板成形性能与试验方法 拉深与拉深载荷试验

GB/T 15825.3 1995

Sheet metal formability and test methods  
—Drawing and drawing load test

### 1 主题内容与适用范围

本标准规定了以极限拉深比为标志的金属薄板拉深成形性能试验方法,即拉深试验与拉深载荷试验两种方法。

本标准适用于厚度 0.45~2.50 mm 的金属薄板,经有关方面协商,可适当扩大板厚适用范围。

### 2 引用标准

GB/T 15825.2 金属薄板成形性能与试验方法 通用试验规程

### 3 符号、名称和单位

本标准所用的符号、名称和单位见表 1。

表 1

符 号	名 称	单 位
$D_c$	凹模内径	mm
$r_p$	凸模圆角半径	mm
$r_d$	凹模圆角半径	mm
$d_p$	凸模直径	mm
$(D_0)_{\max}$	最大试样直径	mm
$t$	试样厚度	mm
$F_p$	拉深力	N
$F_c$	压边力	N
LDR	极限拉深比	
$t_0$	板料基本厚度	mm
$F_{c \min}$	最小压边力	N
$(D''_0)_i$	一组试样中,破裂的试样个数与未破裂的试样个数相等(均为 3 个)时的试样直径	mm
$(D''_0)_i$	一组试样中,破裂的试样个数小于 3 时的试样直径	mm
$(D''_0)_{i+1}$	一组试样中,破裂的试样个数等于或大于 4 时的试样直径	mm
$i$	角标,表示试样直径序号	
$\Delta D_0$	相邻两级试样直径的级差	mm
$X$	$D_0 = (D''_0)_i$ 时,破裂的试样个数, $X < 3$	
$Y$	$D_0 = (D''_0)_{i+1}$ 时,破裂的试样个数, $4 \leq Y \leq 6$	
$Z$	$D_0 = (D''_0)_{i+1}$ 时,未破裂的试样个数, $Z \leq 2$	

国家技术监督局 1995-12-13 批准

1996-08-01 实施

续表 1

符 号	名 称	单 位
$D_0$	试样直径	mm
$F_{p\max}$	最大拉深力	N
$F_{pf}$	拉破试样的极限拉深力	N
$F_{c1}$	测试最大拉深力 $F_{p\max}$ 时所用的压边力	N
$F_{c2}$	测试极限拉深力 $F_{pf}$ 时所用的压边力	N
$h$	凸模行程	mm
$h_1$	与最大拉深力 $F_{p\max}$ 相应的凸模行程	mm
$h_2$	开始将压边力由 $F_{c1}$ 增值到 $F_{c2}$ 时的凸模行程	mm
$h_3$	与极限拉深力 $F_{pf}$ 相应的凸模行程	mm
$(D_0)_{\max T}$	用拉深载荷试验方法确定的最大试样直径	mm
$LDR(T)$	载荷极限拉深比	
$F_{p\max j}$	平均最大拉深力, 角标 $j$ 为试样组别序号	N
$F_{pfj}$	平均极限拉深力, 角标 $j$ 为试样组别序号	N
$M$	$D_0$ - $F_{p\max}$ 直线与 $D_0$ - $F_{pf}$ 直线的交点	
$T$	拉深潜力指标	%
$h'$	拉深杯体高度	mm

#### 4 拉深试验方法

##### 4.1 试验原理

试验时, 将圆片试样压置于凹模与压边圈之间, 通过凸模对其进行拉深成形(见图 1)。本试验需要采用不同直径的试样, 并按照逐级增大直径的操作程序进行拉深试验, 以测定拉深杯体底部圆角附近的壁部不产生破裂时允许使用的最大试样直径  $(D_0)_{\max}$ , 试验结束后用  $(D_0)_{\max}$  计算极限拉深比  $LDR$ 。

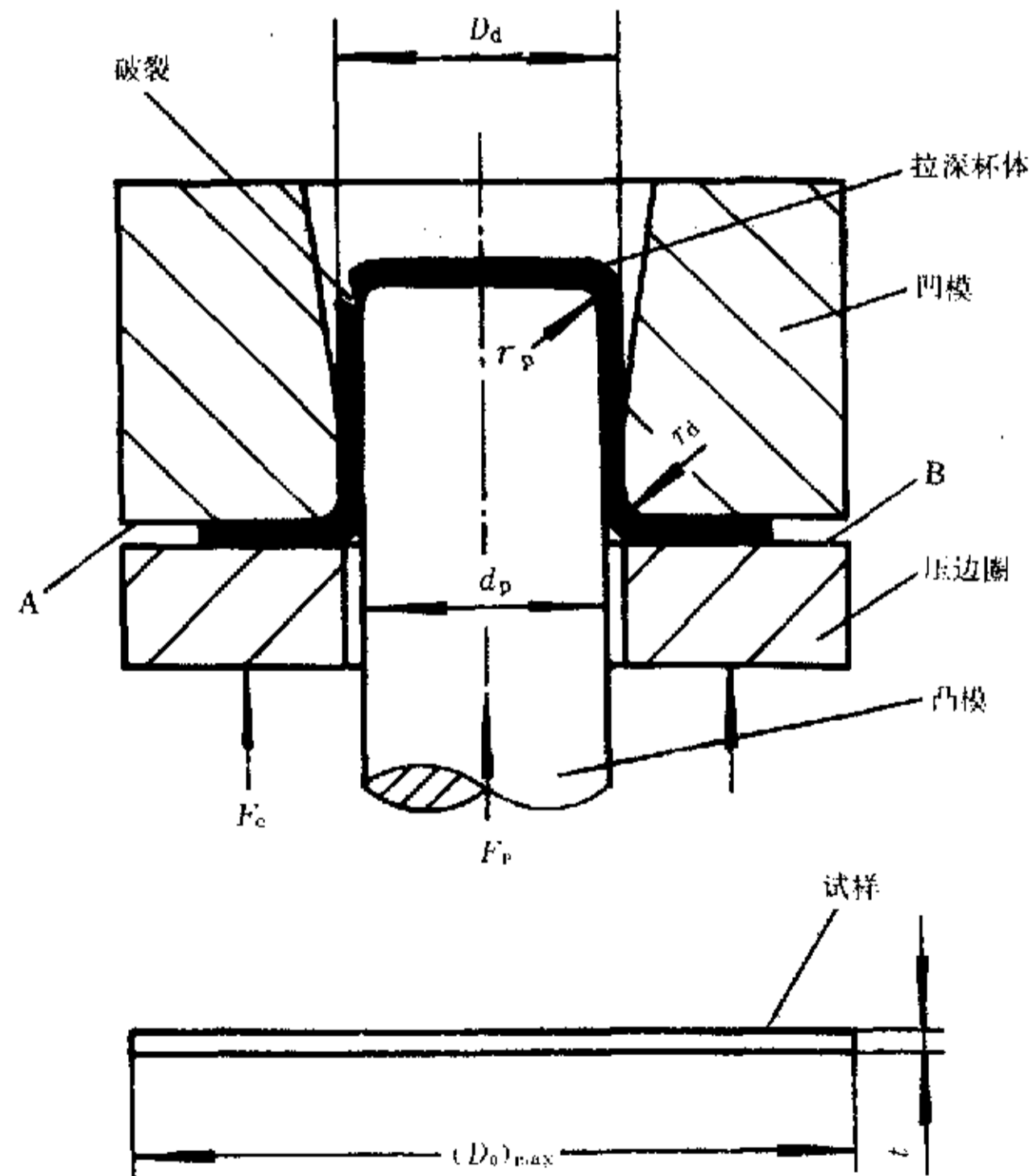


图 1 拉深试验方法

##### 4.2 试样

- 4.2.1 本试验采用圆片状试样,按规定的直径级差分组,组数不少于2,每组内有效试样数量为6。
- 4.2.2 本试验规定相邻两级试样的直径级差为1.25 mm,各级试样的外径偏差不大于0.05 mm。
- 4.2.3 按GB/T 15825.2第3章规定制备试样,并记录试样实测厚度。

4.3 模具

4.3.1 凸模和凹模的工作尺寸按表2规定。

表2 mm

板料基本厚度 $t_0$	凸模直径 $d_v$	凸模圆角半径 $r_p$	凹模内径 $D_d$	凹模圆角半径 $r_d$
0.45~0.64	50 <sup>-0.05</sup>	5.0±0.1	51.80 <sup>-0.05</sup>	6.4±0.10
>0.64~0.91			52.56 <sup>+0.05</sup>	9.1±0.10
>0.91~1.30			53.64 <sup>+0.05</sup>	13.0±0.15
>1.30~1.86			55.20 <sup>+0.05</sup>	18.6±0.15
>1.86~2.50			57.00 <sup>+0.05</sup>	25.0±0.25

4.3.2 按GB/T 15825.2中4.1条规定制备模具。

4.4 试验条件

4.4.1 润滑

按GB/T 15825.2第6章规定,推荐使用1#、3#和4#润滑剂对试样进行润滑。

4.4.2 压边力

4.4.2.1 对试样施加的压边力应满足下述要求:

a. 不允许压边圈下面的试样材料起皱,但必须保证它们能够在凸模的拉深力作用下发生流动和拉深变形;

b. 试验过程中,压边力应保持恒定,重复试验时的压边力偏差保持在±5%以内。

4.4.2.2 采用预试验方法确定合理的压边力,并将其数值控制为500 N的整数倍。

4.4.2.3 用预试验方法确定的压边力应大于抑制压边圈下面试样材料起皱的最小压边力 $F_{c, min}$ ,但不得大于 $1.75 F_{c, min}$ 。

4.4.2.4 允许使用经验方法估算最小压边力 $F_{c, min}$ ,并推荐使用GB/T 15825.2附录A所列经验公式估算最小压边力。

4.4.3 试验速度

推荐使用 $(1.6 \sim 12) \times 10^{-4}$  m/s 试验速度(凸模运动速度)。

4.5 试验装置与试验机

4.5.1 按GB/T 15825.2中5.1条规定准备试验装置,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0.5 mm;

b. 在工作行程内,凸模与凹模中心线应重合,偏差不大于0.1 mm;

c. 凹模工作面A与压边圈工作面B(见图1)之间的平行度不超过0.05 mm;

d. 压边装置应能通过压边圈对试样均匀施加压力(必要时可采用带有球面结构、能够自行调整加压位置的压边圈),并保证本标准4.4.2.1条规定。

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

a. 试验机应保证试样拉深所需的变形力;

b. 试验机工作速度应满足本标准4.4.3条规定。

4.6 试验程序和操作方法

4.6.1 按表2选择试验模具。

4.6.2 按GB/T 15825.2中4.2、5.1.2、5.2.2和5.2.3条规定,对模具、试验装置和试验机进行清洗、

检查和润滑。

4.6.3 进行预试验,确定合理的压边力。

4.6.4 将经过润滑处理的试样准确地放置在凹模与压边圈之间,如果采用 4# 润滑剂,应将粘敷有聚乙烯薄膜的试样表面与凹模工作面 A(见图 1)贴合。

4.6.5 施加压边力后启动凸模,拉深试样。

4.6.6 采用逐级增大试样直径的方法测定拉深杯体底部圆角附近的壁部不产生破裂时允许使用的最大试样直径  $(D_0)_{\max}$ 。

4.6.7 试验时所用的初始试样直径可根据经验确定。

4.6.8 初始试样直径难于估计时,允许使用单个试样进行快速试验,一旦发现试样直径接近  $(D_0)_{\max}$ ,则应开始对每组试样进行重复试验。

4.6.9 每组试样必须进行 6 次有效重复试验,并记录破裂与未破裂试样的个数。

4.6.10 出现下述任一情况,试验无效:

- a. 破裂位置不在杯体底部圆角附近的壁部;
- b. 杯体出现纵向皱褶;
- c. 杯体形状明显不对称,两个对向凸耳的峰高之差大于 2 mm。

4.6.11 在下述任一情况下结束试验:

- a. 一组试样中,3 个试样破裂、3 个试样未破裂;
- b. 当某一级试样的破裂个数小于 3,而直径增大一级后,试样破裂的个数等于或大于 4。

4.7 试验结果计算

4.7.1 最大试样直径  $(D_0)_{\max}$  分下述两种情况确定。

- a. 一组试样中,破裂与未破裂的试样个数相等(均为 3 个)时,试样直径记作  $(D'_0)_i$ ,且

$$(D_0)_{\max} = (D'_0)_i \quad \dots\dots\dots (1)$$

- b. 其他情况下按公式(2)计算  $(D_0)_{\max}$ ,计算结果保留两位小数。

$$(D_0)_{\max} = \frac{1}{2} \left\{ [(D''_0)_i - \frac{\Delta D_0}{Y-X} \cdot X] + [(D''_0)_{i+1} + \frac{\Delta D_0}{Y-X} \cdot Z] \right\} \quad \dots\dots\dots (2)$$

公式(2)的来源及其计算举例参见附录 A(参考件)。

4.7.2 按公式(3)计算极限拉深比  $LDR$ ,计算结果保留两位小数。

$$LDR = \frac{(D_0)_{\max}}{d_p} \quad \dots\dots\dots (3)$$

4.8 试验报告

4.8.1 试验报告格式自行设计。

4.8.2 试验报告应包括下述主要内容:

- 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:按 GB/T 15825.3 规定的拉深试验方法;
- d. 模具:包括凸模直径、凹模内径,凸模和凹模圆角半径,凸模、凹模和压边圈的材料及硬度;
- e. 试验机;
- f. 试验条件:包括试样的润滑剂、润滑方法、压边力和试验速度等;
- g. 试验记录:包括试样直径、破裂和未破裂的试样个数等;
- h.  $(D_0)_{\max}$  的计算确定;
- i.  $LDR$  的计算确定;
- j. 试验日期。

## 5 拉深载荷试验方法

### 5.1 试验原理

对圆片状试样进行拉深时,试样直径  $D_0$  与最大拉深力  $F_{p\max}$ ,以及与拉破试样的极限拉深力  $F_{pl}$  之间均具有近似线性关系,利用这种关系,对多种不同直径的试样进行试验测定  $F_{p\max}$  和  $F_{pl}$  以后,可以近似求出拉深杯体底部圆角附近壁部不产生破裂时允许使用的最大试样直径和相应的载荷极限拉深比。

本试验与拉深试验的区别见附录 B(参考件)。

### 5.2 试样

5.2.1 推荐采用  $\phi 85$ 、 $\phi 90$  和  $\phi 95$  mm 三组不同直径的试样进行试验,每组内有效试样数量不得少于 4 个。

5.2.2 如果上述直径试样在测试最大拉深力  $F_{p\max}$  的拉深过程中,其杯体底部圆角附近的壁部发生破裂,可按 5 mm 级差顺次减小每组试样直径后再行试验。

5.2.3 试样直径偏差不大于 0.05 mm。

5.2.4 按 GB/T 15825.2 第 3 章规定制备试样,并记录试样实测厚度。

### 5.3 模具

模具除按本标准 4.3 条规定外,为了在测试极限拉深力  $F_{pl}$  时保证压边圈压紧试样、防止凹模圆角以外的材料发生变形和流动,允许压边圈工作面有一定的粗糙度或带有凸凹槽纹。

### 5.4 试验条件

#### 5.4.1 润滑

按本标准 4.4.1 条规定对试样润滑。

#### 5.4.2 压边力

5.4.2.1 测试最大拉深力  $F_{p\max}$  时,压边力  $F_{c1}$  按本标准 4.4.2 条规定。

5.4.2.2 测试拉破试样的极限拉深力  $F_{pl}$  时,压边力  $F_{c2}$  应能保证压紧试样,防止凹模圆角以外的材料发生变形和流动。

#### 5.4.3 试验速度

试验速度(凸模运动速度)按本标准 4.4.3 条规定。

### 5.5 试验装置与试验机

5.5.1 测试最大拉深力  $F_{p\max}$  时,试验装置按本标准 4.5.1 条规定。

5.5.2 测试拉破试样的极限拉深力  $F_{pl}$  时,要求试验装置和试验机能向压边圈提供足够的压力,以保证压紧试样,同时还要求压边力由  $F_{c1}$  向  $F_{c2}$  增值时,试验机能控制凸模停止运动。当这些要求不能满足时,允许参考附录 C(参考件)近似测定  $F_{pl}$ 。

5.5.3 试验机除按本标准 4.5.2 条规定外,还应满足 6.5.2 条要求。

### 5.6 试验程序和操作方法

5.6.1 按本标准 4.6.1、4.6.2 条规定选取试验模具,并对模具、试验装置和试验机进行清洗、检查和润滑。

5.6.2 进行预试验,按本标准 4.4.2 条规定、确定测试最大拉深力  $F_{p\max}$  时需用的压边力  $F_{c1}$ 。

5.6.3 进行预试验,按本标准 6.4.2.2 条规定、确定测试极限拉深力  $F_{pl}$  时需用的压边力  $F_{c2}$ 。

5.6.4 按本标准 4.6.4 条规定放置试样。

5.6.5 施加压边力  $F_{c1}$  后启动凸模,拉深试样,测试并记录最大拉深力  $F_{p\max}$  (参见图 2)。

5.6.6 待拉深力自  $F_{p\max}$  大约下降  $0.02 F_{p\max}$  时,先停止凸模运动,将压边力由  $F_{c1}$  增值到  $F_{c2}$  把试样压紧,然后再次启动凸模,直到凹模内试样杯体底部圆角附近的壁部发生破裂时为止,并将此时的拉深力记录为极限拉深力  $F_{pl}$  (参见图 2)。

5.6.7 当试验出现本标准 4.6.10 条规定的任一情况时,试验无效,当试验出现下述任一情况时,试验

亦无效:

- a. 拉深力未达到  $F_{p\max}$  时, 将压边力增值压紧试样;
- b. 测试极限拉深力  $F_{pf}$  时, 压边力未能充分压紧试样。

5.7 试验结果计算

5.7.1 以试样直径  $D_0$  为横坐标, 拉深力  $F_p$  为纵坐标, 绘制拉深载荷试验图(图 3)。

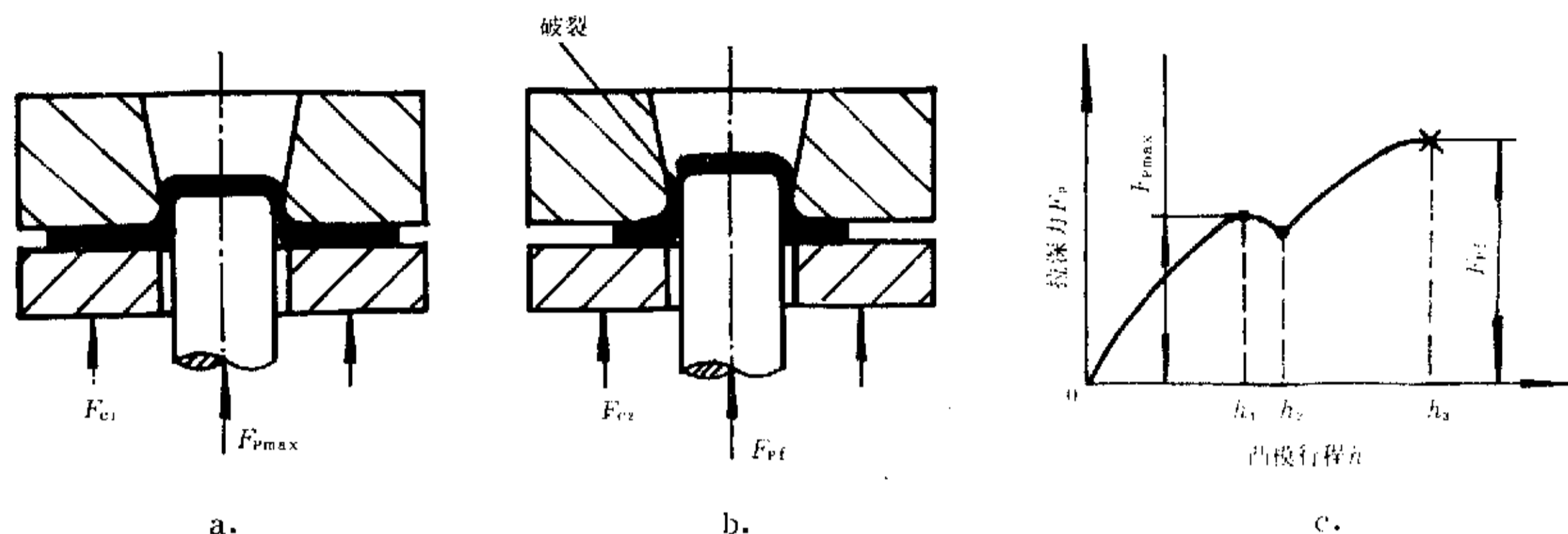


图 2 拉深载荷试验方法

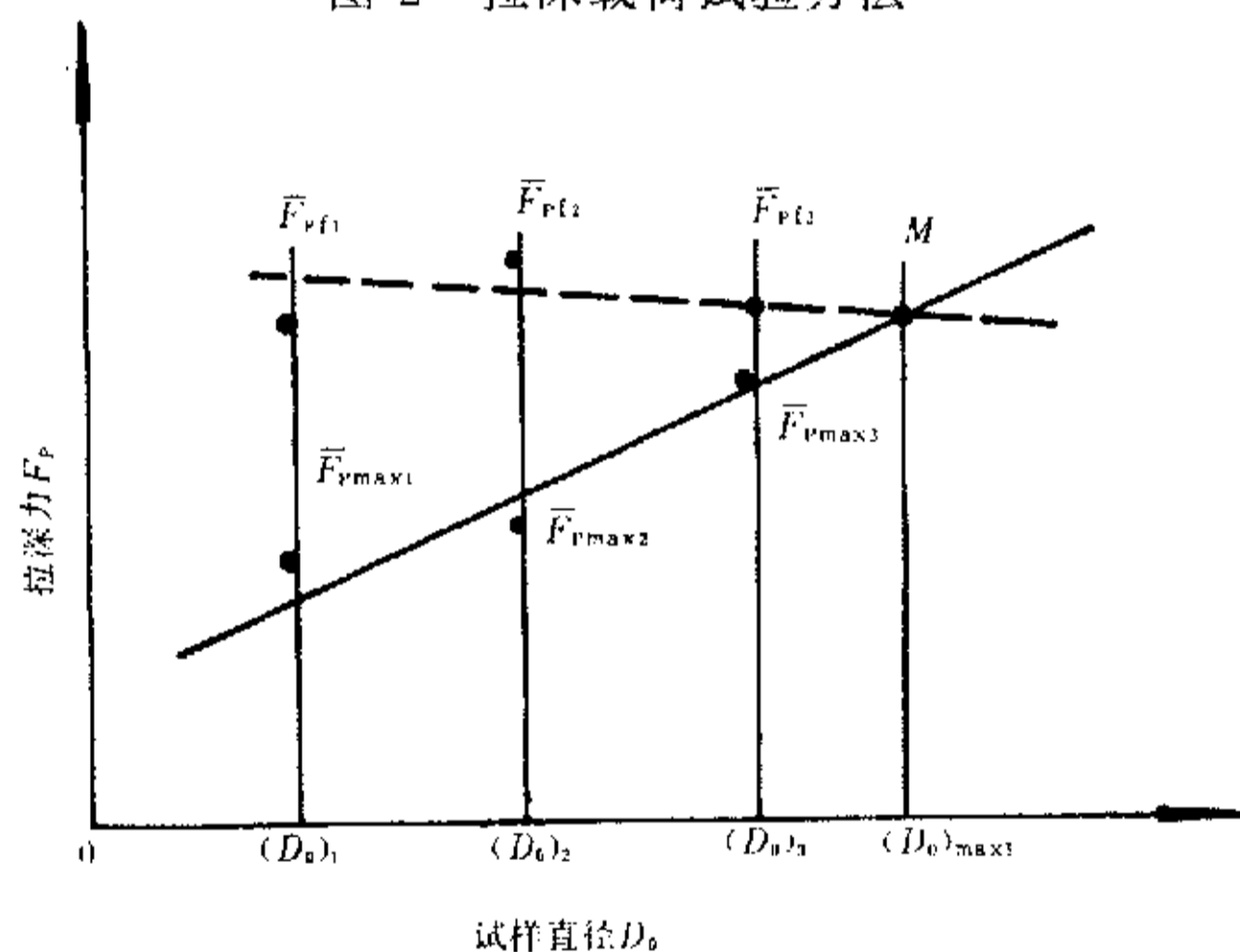


图 3 拉深载荷试验图

5.7.2 最大试样直径可用作图和线性回归两种方法求取。

a. 作图法: 对三组不同直径的试样, 分别计算它们的平均最大拉深力  $\bar{F}_{p\max j}$  和平均极限拉深力  $\bar{F}_{pfj}$ , 计算结果修约到 10 N 的整数倍; 将各组试样的  $\bar{F}_{p\max j}$  和  $\bar{F}_{pfj}$  标绘在图 3 所示坐标系中, 根据  $F_{p\max j}$  和  $\bar{F}_{pfj}$  的分布特征将它们分别连成两条直线, 并相交于 M 点; 由 M 点求出对应的横坐标数值作为拉深载荷试验方法的最大试样直径  $(D_0)_{\max T}$ 。

b. 线性回归法: 利用试验数据, 分别对  $D_0-F_{p\max}$  关系和  $D_0-F_{pf}$  关系进行线性回归求出两条直线方程; 求取两直线方程交点作为拉深载荷试验方法的最大试样直径  $(D_0)_{\max T}$ , 计算结果保留两位小数。

5.7.3 按公式(4)计算载荷极限拉深比  $LDR(T)$ , 计算结果保留两位小数。

$$LDR(T) = \frac{(D_0)_{\max T}}{d_p} \dots\dots\dots (4)$$

5.8 试验报告

试验报告可参考本标准 4.8 条规定, 但需要根据拉深载荷试验特点注明试样的直径选择、试验条件、试验记录、 $(D_0)_{\max T}$  的确定, 以及  $LDR(T)$  的计算。

**附录 A**  
**关于最大试样直径  $(D_0)_{\max}$  计算的说明**  
 (参考件)

**A1** 在本标准规定的拉深试验方法中,最大试样直径  $(D_0)_{\max}$  的计算公式(2)是以破裂试样的个数与试样直径成比例之假设为基础建立的,具体过程如下所述。

**A1.1** 如果试样直径  $D_0 = (D''_0)_i$ , 一组 6 个试样全未发生破裂, 而当试样直径  $D_0 = (D''_0)_{i+1}$  时, 一组 6 个试样全部破裂, 则假设试样直径取  $D_0 = (D''_0)_i$  和  $D_0 = (D''_0)_{i+1}$  的算术平均值时, 试样破裂与不破裂的概率相等, 因此有

$$(D_0)_{\max} = \frac{1}{2} [(D''_0)_i + (D''_0)_{i+1}] \dots\dots\dots (A1)$$

**A1.2** 其他情况下, 假设破裂的试样个数与试样直径的变化成比例关系, 利用外推插值方法可以获得以下两种情况:

**a.** 如果一组 6 个试样在拉深过程中均不产生破裂, 则需

$$D_0 = (D''_0)_i - \frac{\Delta D_0}{Y - X} \cdot X \dots\dots\dots (A2)$$

**b.** 如果一组 6 个试样在拉深过程中全部破裂, 则需

$$D_0 = (D''_0)_{i+1} + \frac{\Delta D_0}{Y - X} \cdot Z \dots\dots\dots (A3)$$

于是由 A1.1 条假设可推出计算公式(2)。

**A2** 假设试验记录如表 A1 所示, 计算举例如下。

表 A1  $d_0 = 50 \text{ mm}$

试样直径序号 $i$	试样直径 $D_0, \text{mm}$	破裂的试样个数	未破裂的试样个数
1	106.25	0	6
2	107.50	1	5
3	108.75	2	4
4	110.00	4	2

由表 A1 可知  $(D_0)_3 = 108.75 \text{ mm}$  时,  $X = 2$   
 $(D_0)_4 = 110.00 \text{ mm}$  时,  $Y = 4, Z = 2$

所以  $(D''_0)_i = 108.75 \text{ mm}$   
 $(D''_0)_{i+1} = 110.00 \text{ mm}$

于是由本标准计算公式(2)得

$$\begin{aligned} (D_0)_{\max} &= \frac{1}{2} \left[ \left( 108.75 - \frac{1.25}{4-2} \times 2 \right) + \left( 110.00 + \frac{1.25}{4-2} \times 2 \right) \right] \\ &= 109.38 \text{ mm} \end{aligned}$$

**附录 B**  
**关于拉深试验方法与拉深载荷试验方法的说明**  
 (参考件)

**B1** 拉深试验方法是国际深拉深研究会(The International Deep Drawing Research Group, 缩写 ID-

DRG)推荐的拉深性能试验方法,国际上也称为 Swift 试验法,但试验过程比较繁杂。

**B2** 拉深载荷试验过程比较简便,其试验原理基于 W. Engelhard 与 H. Gross 提出的拉深潜力试验方法(也称为 Engelhard 试验或 TZP 试验),该试验装置比较复杂,对试验机有一定要求。这种试验的基本原理参见图 B1,即试验时,将试样置于凹模与内、外压边圈之间,先用外压边圈对试样施加一定压边力,并通过凸模对试样进行拉深,测出最大拉深力  $F_{p\max}$ ,然后用内压边圈将试样压紧,通过凸模继续加载、测定凹模内试样底部圆角附近壁部发生破裂时的极限拉深力  $F_{pf}$ ,试验结束后,用  $F_{p\max}$  和  $F_{pf}$  计算拉深潜力指标  $T$  值,即

$$T = \frac{F_{pf} - F_{p\max}}{F_{pf}} \times 100\% \quad \dots\dots\dots(B1)$$

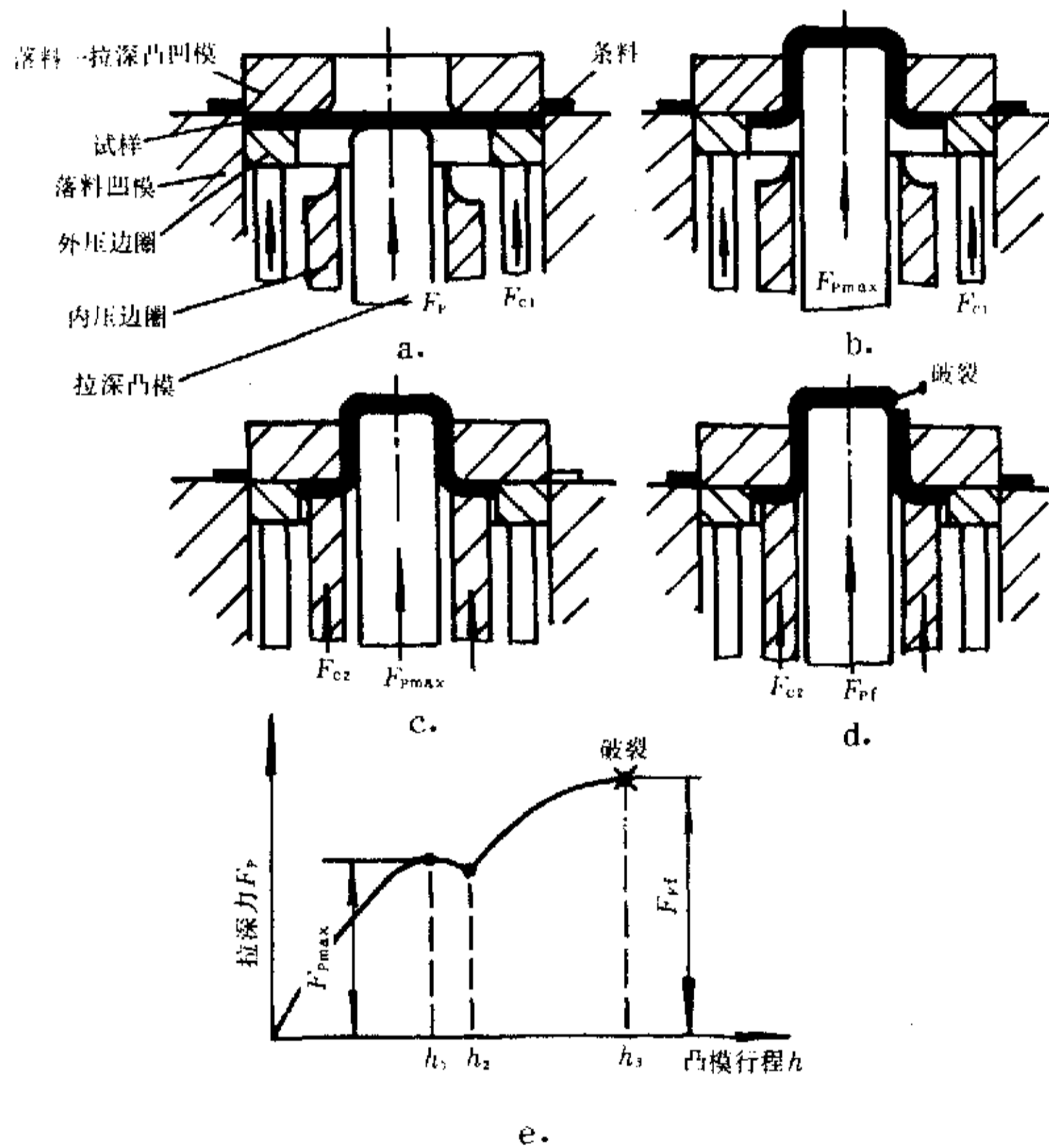


图 B1 拉深潜力试验简图

**B3** 由于两种试验方法原理不同,所以确定出的极限拉深比  $LDR$  与载荷极限拉深比  $LDR(T)$  之间具有一定误差。通常,在没有专用拉深载荷试验设备的条件下,优先考虑使用拉深试验方法。

两种试验方法的误差情况判别如下:取 6 个直径等于  $(D_0)_{\max}$  的试样进行拉深,

- a. 若 6 个试样全部破裂,则  
 $LDR(T) > LDR$
- b. 若 6 个试样全未破裂,则  
 $LDR(T) < LDR$
- c. 若 6 个试样中 3 个破裂,3 个未破裂,则  
 $LDR(T) = LDR$

## 附录 C

极限拉深力  $F_{pl}$  的近似求法

(参考件)

用拉深试验方法的模具进行拉深载荷试验时,为了测试极限拉深力  $F_{pl}$ ,压边力  $F_{c2}$  对试验装置和试验机有一定的特殊要求(参见本标准 6.5 条),当这些要求不能满足时,一方面仍按本标准规定的方法测试最大拉深力  $F_{p\max}$ ,另一方面允许使用下述方法测试极限拉深力  $F_{pl}$  并进一步求取最大试样直径  $(D_0)_{\max T}$ 。

C1 利用若干次试拉深方法,找出拉深杯体底部圆角附近壁部破裂时,杯体高度  $h'$  能够满足下述不等式的试样直径。

$$h' \geq r_d + r_p + 2(D_d - d_p) - 3 \quad \dots\dots\dots (C1)$$

C2 根据上述试拉深结果,取 4 个直径相同的试样进行重复拉破试验,记录下它们的极限拉深力  $F_{pl}$ 。

C3 可按下述任一方法求取最大试样直径  $(D_0)_{\max T}$ 。

a. 作图法:计算出 4 个试样极限拉深力的平均值  $\bar{F}_{pl}$ ,取  $F_p = \bar{F}_{pl}$  在本标准图 3 所示的坐标系中作出一条与横坐标轴平行的直线,取该直线与  $D_0 - F_{p\max}$  直线交点的横坐标值作为最大试样直径  $(D_0)_{\max T}$ 。

b. 线性回归法:利用试验数据线性回归出  $D_0 - F_{p\max}$  直线方程后,求取它与方程  $F_p = \bar{F}_{pl}$  的交点作为最大试样直径  $(D_0)_{\max T}$ 。

## 附加说明:

本标准由中华人民共和国机械工业部提出。

本标准由全国锻压标准化技术委员会归口。

本标准由武汉工学院负责起草。

本标准主要起草人曹宏琛、姜奎华。

本系列标准自实施之日起,原部标 JB 4409—88《薄钢板的成形性能和试验方法》标准作废。