

# 中华人民共和国国家标准

GB/T 15825.1—2008  
代替 GB/T 15825.1—1995

---

## 金属薄板成形性能与试验方法 第 1 部分：成形性能和指标

Sheet metal formability and test methods—  
Part 1: Formability and indexes

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 .....	I
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 .....	4
5 塑性各向异性与成形性能的关系 .....	6
6 应变硬化指数与成形性能的关系 .....	6
7 成形极限图与成形极限曲线的工程应用及检测方法 .....	6
8 成形性能的基本参数和指标 .....	6
9 成形性能试验方法选用 .....	7
附录 A (资料性附录) 对模拟成形试验的说明 .....	8
附录 B (资料性附录) 张拉弯曲回弹试验 .....	9
参考文献 .....	11

## 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 1 部分。

本部分代替 GB/T 15825.1—1995《金属薄板成形性能与试验方法 成形性能和指标》。

本部分与 GB/T 15825.1—1995 相比，主要变化如下：

- 增加了“前言”；
- 重新界定了本部分的适用范围；
- 在“2 规范性引用文件”中增加了 ISO/TR 14936:1998；
- 3.1 中，将“……冲压成形……”修改为“……冲压成形过程……”；
- 将原标准中的“4.2 狭义成形性能”修改为“3.4 抗破裂性”；
- 3.4.2 中，将“法兰变形区”修改为“凸缘主变形区”；
- 图 3 中，将“局部开裂”和符号“ $d_o$ ”、“ $d_i$ ”分别修改为“孔缘开裂”和“ $D_o$ ”、“ $D_h$ ”；
- 增加了“图 4 内孔翻边与竖缘开裂”；
- 将原标准中的“4.3 广义成形性能”修改为“3.7 综合成形性能”，并重新予以定义；
- 将原标准中的“7.1”修改为“3.8 成形极限图与成形极限曲线”，并予以定义；
- 在 8.2 中增加了“g) 贴模(抗皱)性指标：方板对角拉伸试验皱高”和“h) 定形性指标：张拉弯曲回弹值”；
- 增加了附录 A 和附录 B。

本部分的附录 A 和附录 B 均为资料性附录。

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、北京航空航天大学、华中科技大学、东风汽车模具冲压有限公司、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、李晓星、李志刚、李建华、陈新平。

本部分所代替标准的历次版本发布情况为：

- GB/T 15825.1—1995。

# 金属薄板成形性能与试验方法

## 第 1 部分:成形性能和指标

### 1 范围

GB/T 15825 的本部分规定了金属薄板成形性能的参数、指标以及相应的检测试验方法。  
本部分适用于指导金属薄板成形性能及其试验方法的选择和应用。

### 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 4156 金属材料 薄板和薄带 埃里克森杯突试验(GB/T 4156—2007,ISO 20482:2003, IDT)

GB/T 5027 金属材料 薄板和薄带 塑性应变比( $r$  值)的测定(GB/T 5027—2007,ISO 10113:2006, IDT)

GB/T 5028 金属薄板和薄带拉伸应变硬化指数( $n$  值)试验方法(GB/T 5028—1999, eqv ISO 10275:1993)

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

GB/T 15825.3 金属薄板成形性能与试验方法 第 3 部分:拉深与拉深载荷试验

GB/T 15825.4 金属薄板成形性能与试验方法 第 4 部分:扩孔试验

GB/T 15825.5 金属薄板成形性能与试验方法 第 5 部分:弯曲试验

GB/T 15825.6 金属薄板成形性能与试验方法 第 6 部分:锥杯试验

GB/T 15825.7 金属薄板成形性能与试验方法 第 7 部分:凸耳试验

GB/T 15825.8 金属薄板成形性能与试验方法 第 8 部分:成形极限图(FLD)测定指南

ISO/TR 14936:1998 金属材料 应变分析报告

### 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本部分。

#### 3.1

**金属薄板成形性能** sheet metal formability

金属薄板对于冲压成形过程的适应能力。

#### 3.2

**模拟成形试验** simulative forming test

从成形几何条件与技术物理属性的相似性出发,对各种冲压成形过程和工艺条件所设计的典型化试验。

3.3

**模拟成形性能 simulating formability**

金属薄板在各种模拟冲压成形试验中,对其成形过程的适应能力。

3.4

**抗破裂性 fracture resistance**

金属薄板在冲压成形过程中抵抗破裂的能力,或称狭义成形性能(classic formability)。

3.4.1

**胀形性能 stretchability**

胀形成形时,金属薄板在双向拉应力作用下抵抗其厚度减薄而引起局部颈缩或破裂(图 1)的能力。

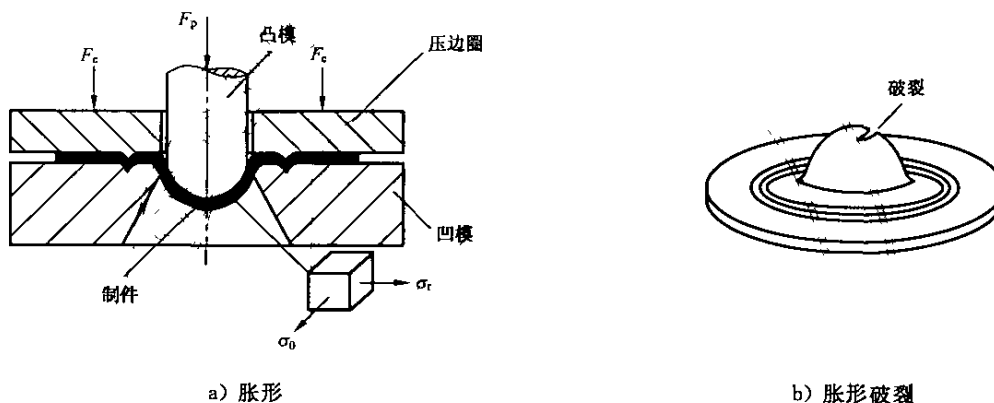


图 1 胀形与胀形破裂

3.4.2

**拉深性能 drawability**

拉深成形时,在凸缘主变形区不起皱条件下,金属薄板在凸模圆角附近抵抗破裂(图 2)的能力。

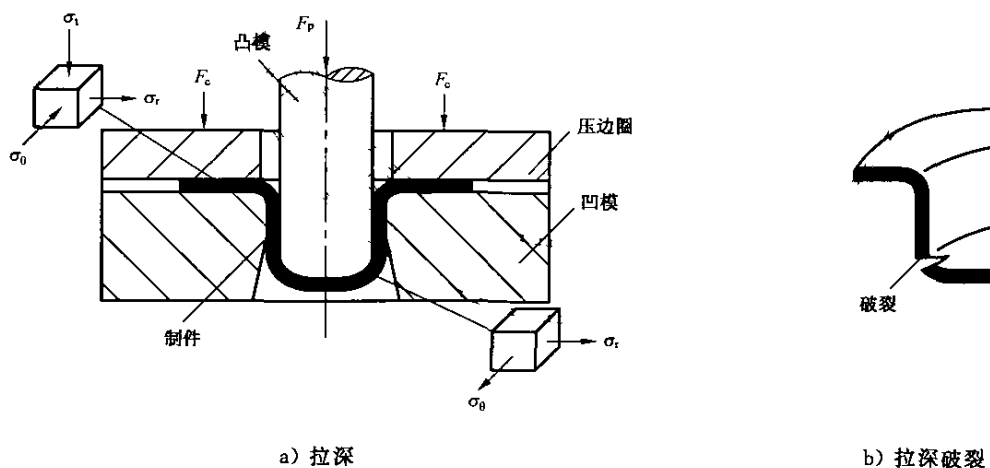


图 2 拉深与拉深破裂

3.4.3

**扩孔(内孔翻边)性能 hole expandability (stretching flagability)**

扩孔(内孔翻边)成形过程中,金属薄板抵抗因孔缘(竖缘)局部伸长变形过大而发生孔缘(竖缘)开裂(图 3、图 4)的能力。

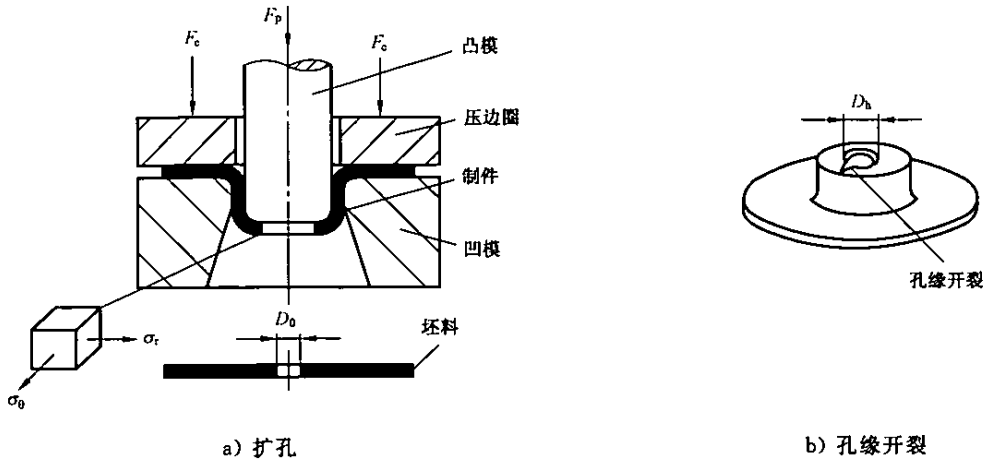


图 3 扩孔与孔缘开裂

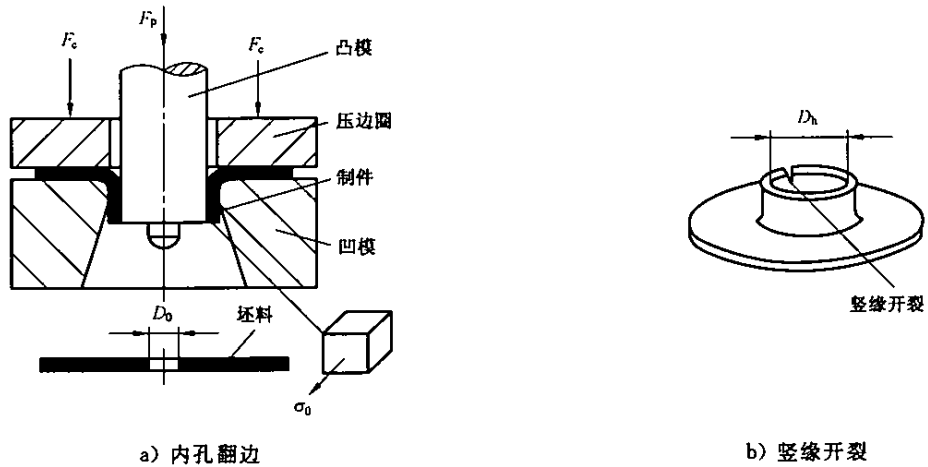


图 4 内孔翻边与竖缘开裂

3.4.4

弯曲性能 bendability

弯曲成形时,金属薄板抵抗变形区外层拉应力引起破裂(图 5)的能力。

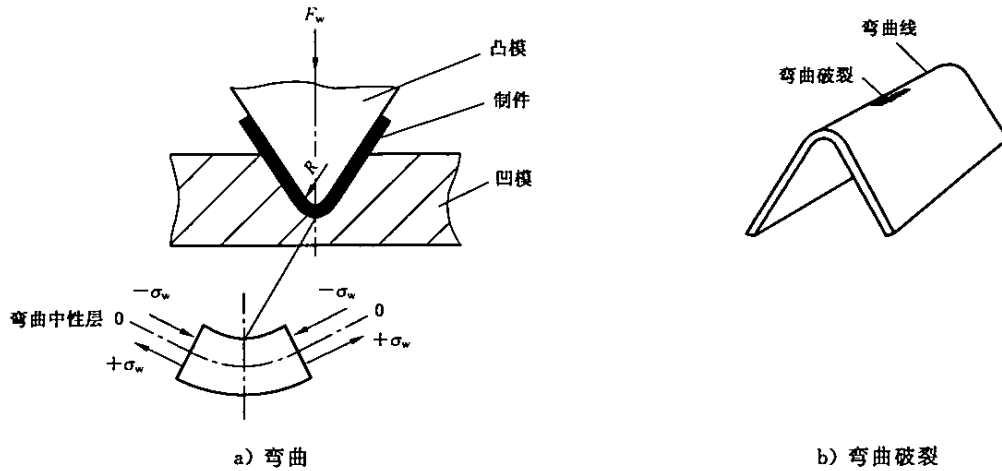


图 5 弯曲与弯曲破裂

3.4.5

复合成形性能 combining formability

金属薄板在两种或两种以上基本冲压成形方式作用下抵抗破裂的能力,如金属薄板在“拉深+胀形”复合成形方式下抵抗破裂的能力。

3.5

贴模性 fitting behavior

金属薄板在冲压成形加载过程中获得模具形状和尺寸且不产生皱纹等板面几何缺陷的能力。

3.6

定形性 shape fixability

冲压成形制件脱模后抵抗回弹,保持其在模内既得形状和尺寸的能力。

3.7

综合成形性能 overall formability

综合考虑金属薄板在冲压成形过程中抗破裂性、贴模性和定形性时的成形性能称为综合成形性能,或称广义成形性能(universal formability)。

3.8

成形极限图与成形极限曲线 forming limit diagram and forming limit curve, FLD and FLC

金属薄板在不同的应变路径下可以取得不同的极限应变,这些极限应变值在坐标系中构成的极限应变分布区域,以及根据极限应变点绘成的曲线称为成形极限图(FLD),如图6所示。其中,由极限应变点绘成的曲线称为成形极限曲线(FLC)。

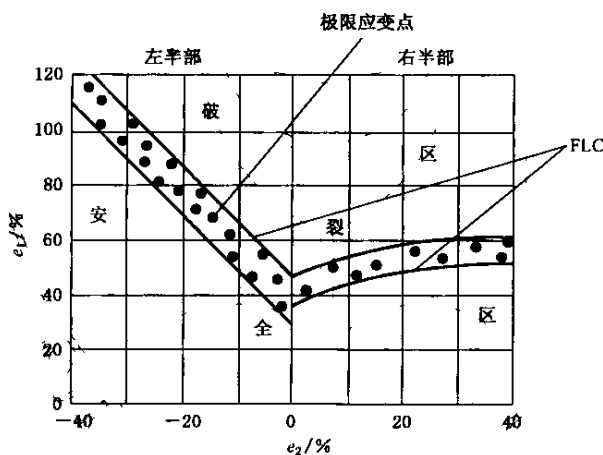


图6 成形极限图(FLD)与成形极限曲线(FLC)

4 符号、名称和单位

本部分所用的符号、名称和单位见表1。

表1 符号、名称和单位

符号	名称	单位
$F_c$	压边力	N
$F_p$	凸模力	N
$\sigma_\theta, \sigma_r, \sigma_w$	周向应力, 径向应力, 弯曲应力	Pa
$D_0$	扩孔或内孔翻边前坯料上的预制孔径	mm

表 1 (续)

符号	名 称	单 位
$D_h$	扩孔或内孔翻边时孔缘(竖缘)开裂时的直径	mm
$F_w$	弯曲力	N
$R$	弯曲半径	mm
FLD	成形极限图	
FLC	成形极限曲线	
$e_1, e_2$	工程主应变	%
$\epsilon_1, \epsilon_2$	真实主应变	
$E$	弹性模量	GPa
$R_e$	屈服强度	MPa
$R_m$	抗拉强度	MPa
$R_e/R_m$	屈服比	
$A_e$	屈服点延伸率	%
$A_{gt}$	最大力总伸长率	%
$A_t$	断裂总伸长率	%
$Z$	断面收缩率	%
$r$	塑性应变比	
$\bar{r}$	平均塑性应变比	
$\Delta r$	塑性应变比平面各向异性度	
$Z_e$	凸耳率	%
$n$	应变硬化指数	
IE	杯突值	mm
LDR	极限拉深比	
LDR(T)	载荷极限拉深比	
$\lambda(\bar{\lambda})$	极限扩孔率(平均极限扩孔率)	%
$R_{mn}/t$	最小相对弯曲半径	
$t$	金属薄板厚度	mm
CCV	锥杯值	mm
$M$	弯曲力矩	
$\alpha$	弯曲角	(°)
$\Delta\alpha$	弯曲回弹角	(°)
$R'$	回弹后的弯曲半径	mm
$\Delta R$	弯曲半径的回弹值	mm



## 5 塑性各向异性与成形性能的关系

### 5.1 塑性各向异性

金属薄板塑性性能的方向性,通常可分为厚向异性和平面各向异性两种类型。

### 5.2 厚向异性与成形性能的关系

5.2.1 金属薄板厚度方向与其平面内任一方向的塑性性能之差异称为厚向异性,可用拉伸试验测定的塑性应变比( $r$ 值)或平均塑性应变比( $\bar{r}$ 值)表示。

5.2.2  $r$ 值或 $\bar{r}$ 值大的金属薄板,其面内方向容易塑性变形。例如 $r$ 值或 $\bar{r}$ 值较大时,拉深成形时因凸缘主变形区内变形抗力小,有利于改善金属薄板的拉深性能。

### 5.3 平面各向异性与成形性能的关系

5.3.1 金属薄板平面内不同方向的塑性性能之差异称为平面各向异性,可用拉伸试验测定的塑性应变比平面各向异性度( $\Delta r$ )表征。

5.3.2 金属薄板的平面各向异性会影响其面内变形的均匀性,例如 $\Delta r$ 的绝对值大,拉深凸耳问题严重。

## 6 应变硬化指数与成形性能的关系

金属薄板的应变硬化指数( $n$ 值)反映其加工硬化能力。一般而言, $n$ 值较大的金属薄板具有较好的成形性。

## 7 成形极限图与成形极限曲线的工程应用及检测方法

### 7.1 成形极限图与成形极限曲线的工程应用

成形极限图和成形极限曲线在冲压成形生产中是分析冲压成形工艺过程能否稳定发展的判据,而在材料学方面表征金属薄板在冲压成形过程中抵抗局部颈缩或破裂的成形能力。

### 7.2 成形极限图与成形极限曲线检测方法

通常使用网格应变分析法(见 ISO/TR 14936:1998)或其他应变分析法检测冲压成形时的极限应变,成形极限图和成形极限曲线既可以用实验室方法检测的极限应变数据确定,也可以用实际冲压成形生产中积累的极限应变数据确定。

## 8 成形性能的基本参数和指标

### 8.1 材料基本参数

设计金属薄板制件、选择冲压成形原材料,或协议金属薄板的订货供货,有时需把金属薄板的一些基本性能和性质作为成形性能的基本参数提出要求,或作为参考。常用的参数指标分为下述5项:

a) 强度性能:

- 弹性模量  $E$ ;
- 屈服强度  $R_e$ ;
- 抗拉强度  $R_m$ ;
- 屈强比  $R_e/R_m$ ;

b) 变形性能:

- 屈服点延伸率  $A_e$ ;
- 最大力总伸长率  $A_{gt}$ ;
- 断裂总伸长率  $A_t$ ;
- 断面收缩率  $Z$ ;

c) 晶粒度;

- d) 硬度;
- e) 表面状态。

## 8.2 模拟成形性能指标

选择或评定金属薄板冲压成形品级时,可对某种(某些)模拟成形性能指标提出要求。设计或分析冲压成形工艺过程,以及设计冲压成形模具时,经常需要参考某种(某些)模拟成形性能指标的数据。本部分对常用的模拟成形性能指标分类如下:

- a) 胀形性能指标:杯突值 IE;
- b) 拉深性能指标:极限拉深比 LDR 或载荷极限拉深比 LDR(T);
- c) 扩孔(内孔翻边)性能指标:极限扩孔率(平均极限扩孔率) $\lambda(\bar{\lambda})$ ;
- d) 弯曲性能指标:最小相对弯曲半径  $R_{\min}/t$ ;
- e) “拉深+胀形”复合成形性能指标:锥杯值 CCV;
- f) 面内变形均匀性指标:凸耳率  $Z_e$ ;
- g) 贴模(抗皱)性指标:方板对角拉伸试验皱高;
- h) 定形性指标:张拉弯曲回弹值。

注:由于设计模拟成形试验的技术目标和技术方法不同,或因国家和地区技术差异,除了以上主流性质的模拟成形性能指标之外,历史传承下来的模拟成形性能指标及其相应的试验方法还具有多种不同形式,见附录 A。

## 8.3 特定成形性能指标

选择或评定金属薄板冲压成形品级、协议金属薄板的订货供货,设计或分析冲压成形工艺过程时,可对金属薄板的某种(某些)材料特性指标或工艺性能指标提出要求,或参考它们的数据,它们统称为特定成形性能指标,这些指标目前可分为以下 4 种:

- a) 塑性应变比( $r$  值)或平均塑性应变比( $r$  值);
- b) 应变硬化指数( $n$  值);
- c) 塑性应变比平面各向异性度( $\Delta r$ )。

## 8.4 成形极限图与成形极限曲线

评定、估测金属薄板的局部成形性能,或分析解决冲压成形破裂问题时,可使用金属薄板的成形极限图或成形极限曲线。

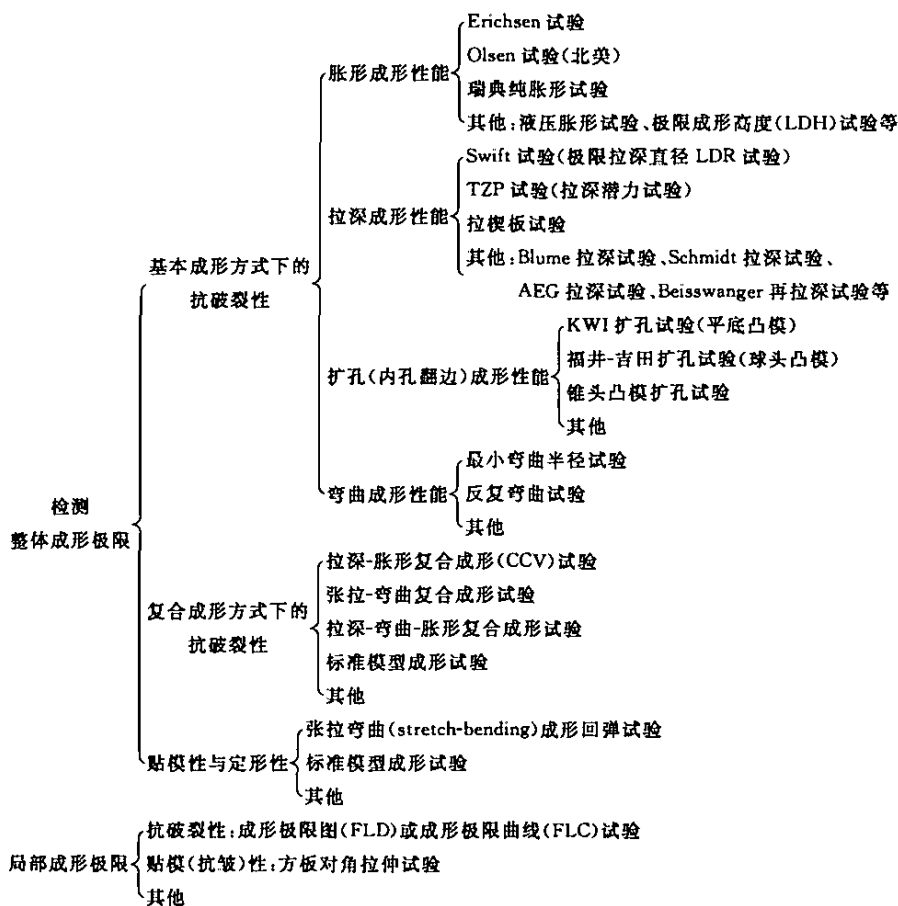
## 9 成形性能试验方法选用

根据需要测定的成形性能指标或成形性能的参数不同,应按下述规定选用相应的试验方法标准:

- a) 金属薄板成形性能通用试验规程按 GB/T 15825.2 的规定;
- b) 测定胀形性能指标杯突值 IE 值时,按 GB/T 4156 的规定;
- c) 测定拉深性能指标极限拉深比 LDR 或载荷极限拉深比 LDR(T) 时,按 GB/T 15825.3 的规定;
- d) 测定扩孔(内孔翻边)性能指标极限扩孔率(平均极限扩孔率) $\lambda(\bar{\lambda})$  时,按 GB/T 15825.4 的规定;
- e) 测定弯曲性能指标最小相对弯曲半径  $R_{\min}/t$  时,按 GB/T 15825.5 的规定;
- f) 测定“拉深+胀形”复合成形性能指标锥杯值 CCV 时,按 GB/T 15825.6 的规定;
- g) 测定面内变形均匀性指标凸耳率  $Z_e$  时,按 GB/T 15825.7 的规定;
- h) 测定特定成形性能指标塑性应变比( $r$  值)、平均塑性应变比( $r$  值)、塑性应变比平面各向异性度( $\Delta r$ ) 时,按 GB/T 5027 的规定;
- i) 测定特定成形性能指标应变硬化指数( $n$  值) 时,按 GB/T 5028 的规定;
- j) 测定成形极限图(FLD)和成形极限曲线(FLC) 时,按 GB/T 15825.8 的规定;
- k) 测定贴模(抗皱)性指标方板对角拉伸试验皱高时,按参考文献[1]的说明;
- l) 测定定形性指标张拉弯曲回弹值时,按附录 B 的说明。

附录 A  
(资料性附录)  
对模拟成形试验的说明

本部分第 9 章以及 GB/T 15825 整套标准体系所规定的各种成形性能试验方法(不包括通用试验规程和特定成形性能指标的检测试验方法),均为我国冲压生产和冶金制造行业已经使用或比较熟悉的模拟成形性能试验方法,而且也属于国际上的主流成形性能试验范畴。但除这些试验方法外,国际上还流行其他一些模拟成形性能试验,见图 A.1。



注 1: 整体成形极限指金属薄板(或制件坯料)在冲压过程中发生颈缩、破裂、皱曲等成形缺陷之前,某种特定的整体几何尺寸或某种几何特征的整体尺寸可以达到的极限变形程度。例如,极限拉深系数(或极限拉深比)、极限扩孔率、极限翻边系数和极限胀形高度等,它们通常可用作设计冲压成形工艺和模具的参数。

注 2: 局部成形极限指金属薄板在冲压过程中发生颈缩、破裂、皱曲等成形缺陷之前,局部点位或局部变形区域可以达到的极限变形程度。例如金属薄板成形极限图中的极限应变等,通常可用作分析冲压成形工艺和模具设计问题的依据。

图 A.1 模拟成形性能试验方法

**附录 B**  
**(资料性附录)**  
**张拉弯曲回弹试验**

### B.1 弯曲回弹的基本原理

金属薄板从弯曲状态卸载后,其弯曲半径  $R$  和弯曲角  $\alpha$  发生的变化情况( $\Delta R$  和  $\Delta\alpha$ )称为弯曲回弹。弯曲回弹首先源于金属材料的本征弹性变形性质,同时还与弯曲变形区内层受压应力和外层受拉应力的变形状态相关,即在弯曲变形区的厚度( $t$ )方向上,内、外层材料所受拉、压反向应力诱发内、外层反向变形材料之间产生被动应力,并在弯曲卸载后转变为残余应力而释放,残余应力释放过程亦会引发弯曲半径和弯曲角变化。弯曲回弹和弯曲应力如图 B.1 所示。

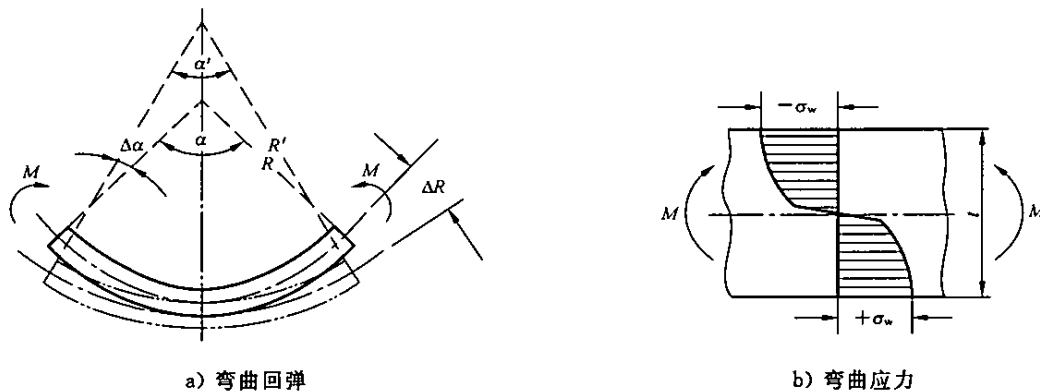


图 B.1 弯曲回弹与弯曲应力

### B.2 张拉弯曲及其回弹

对于汽车车身外板类覆盖件等带有微曲面(近平面)特征的浅成形冲压制件,曲面部位在冲压成形过程中承受张拉弯曲(stretch-bending)复合应力作用。由于曲面曲率微小,冲压成形过程中曲面部位的弯曲变形经常处于弹塑性状态,再加上张拉变形(stretching)把材料内层弯曲压应力转变成拉应力所诱发的被动应力(卸载时转变成成为残余应力),冲压成形结束制件从模内脱取之后,曲面部位弹性回复比较显著,对制件的形状和尺寸精度具有强烈影响。

引发张拉弯曲回弹的力学动因比较复杂,例如图 B.2 所示,由于凸、凹模与薄板弯曲和反弯曲部位的接触条件(包含润滑状态)差异,C、D 两点应力亦出现差异并诱发或导致材料内出现被动应力和残余应力,冲压成形卸载后随着残余应力释放制件将发生回弹和形状尺寸变化;又如图 B.3 所示,双曲面拱顶环形应变(hoop strains)相互制约,也是冲压成形卸载后的制件回弹和形状尺寸变化的原因;再如图 B.4 所示,张拉变形区域大小及其变形程度影响冲压成形卸载后的制件回弹和形状尺寸变化。总之,在张拉弯曲复合应力作用下,冲压成形制件尤其是铝合金和高强钢板类制件的回弹对其定形性和形状尺寸精度影响很大。

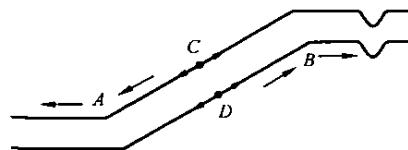


图 B.2 弯曲和反弯曲部位

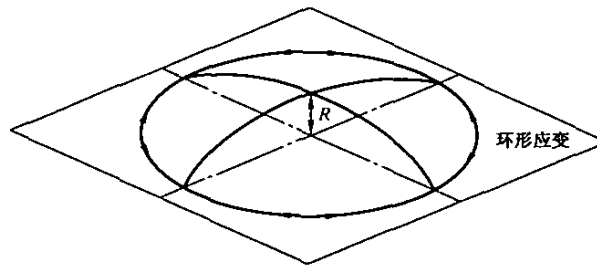


图 B.3 双曲面拱顶

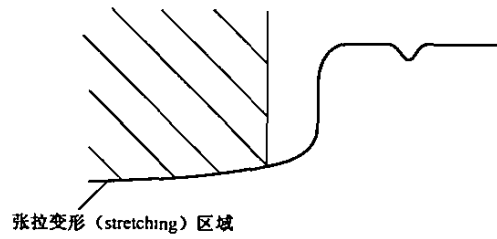


图 B.4 张拉变形(stretching)区域

### B.3 张拉弯曲回弹试验方法

为了评价或估测张拉弯曲变形条件下金属薄板及其冲压成形制件的定形性,可参考 JIS H7702:2003。

参 考 文 献

- [1] Automotive sheet metal formability—A state of the art report, AISI Automotive Applications Committee, Washington, DC, Jan. 1989.
  - [2] JIS H7702:2003 汽车用铝合金薄板的拉弯回弹性评价方法.
-