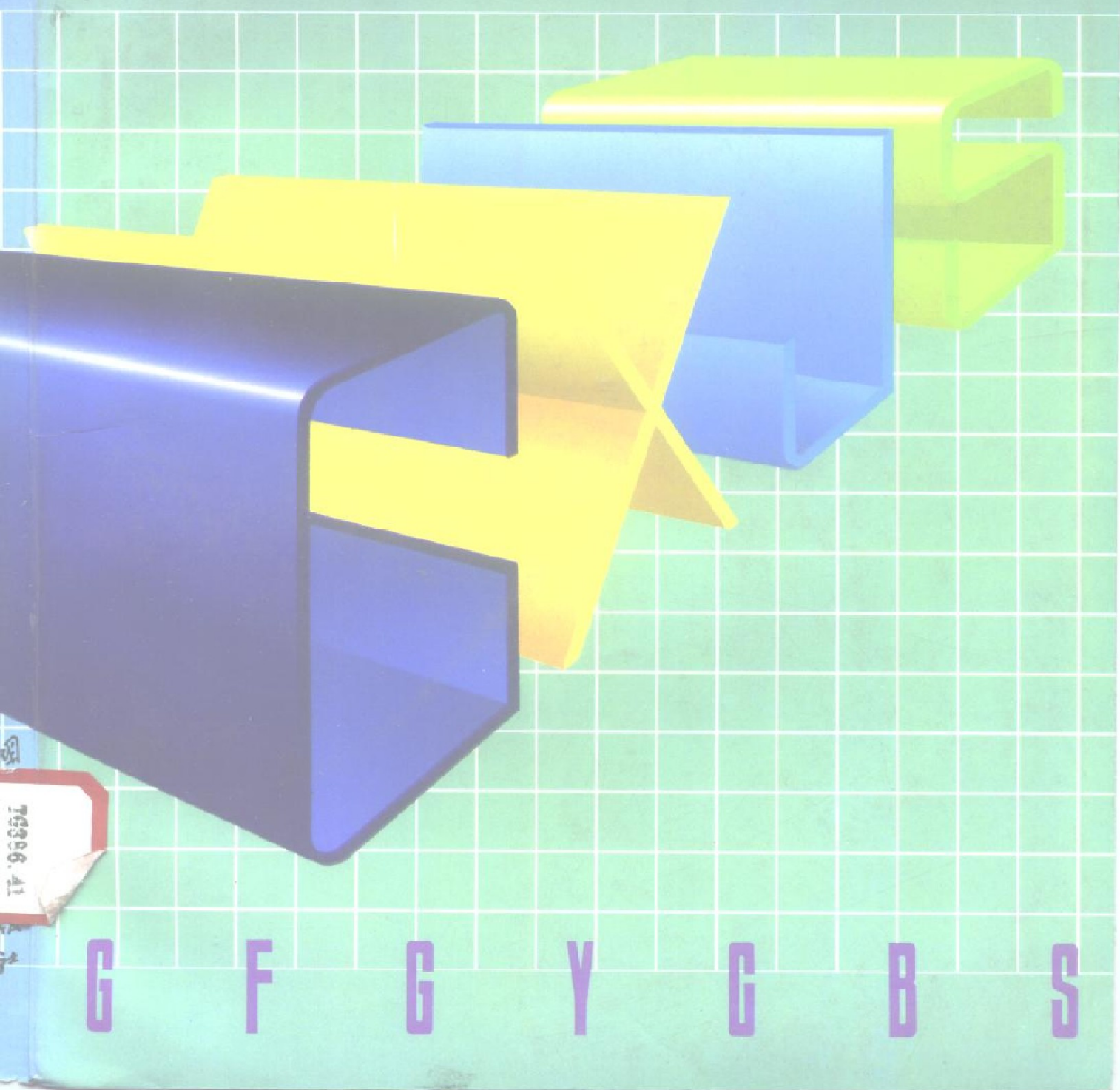


大型薄板成形技术

大型薄板成形技术

DAXING BOBAN CHENGXING JISHU

杨玉英 主编



79396.41

G F G Y G B S

388512

大型薄板成形技术

杨玉英 主编

国防工业出版社

· 北京 ·

188512

大型薄板成形技术

杨玉英 主编

国防工业出版社

· 北京 ·

图书在版编目(CIP)数据

大型薄板成型技术/杨玉英主编. —北京:国防工业出版社, 1996. 2

ISBN 7-118-01475-3

I. 大… II. 杨… III. 薄板-冲压-可塑成型-技术 IV. TG386.41

中国版本图书馆 CIP 数据核字(95)第 07816 号

国防工业出版社 出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号)

(邮政编码 100044)

北京怀柔新华印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 18 418 千字

1996 年 2 月第 1 版 1996 年 2 月北京第 1 次印刷

印数: 1—3000 册 定价: 23.80 元

(本书如有印装错误, 我社负责调换)

前 言

大型薄板冲压加工技术广泛地应用于汽车、电器、造船、航空航天、兵器等国民经济的支柱产业部门。随着汽车、电器、宇航等工业的迅速发展,产品的市场寿命相应缩短,从而迫使产品加速更新换代。因此大型冲压件成形技术的研究与开发受到各国的普遍重视。

本书从塑性变形力学的角度,对冲压变形的基本理论及各种冲压方法的成形特点与共性规律进行了较全面、系统的阐述。重点分析了大型复杂形状冲压件在成形过程中受力和变形及其本身特有的规律,阐述了与大型冲压件质量问题相关的失稳理论、成形难易的评价以及各种质量问题产生的机制及对策,从而可为读者在深入分析研究大型冲压件成形问题时提供一些正确的途径与方法。

本书参阅了国内外大量有关大型冲压件成形方面的文献,汇集了国内外一些成功的经验与资料,同时还补充了作者多年来的研究成果,从而使之成为一本内容丰富、反映现代冲压技术水平、且使用性较强的专业技术书。

本书第一、二、三、五、六、七、八章由杨玉英编写,邢忠文参与编写第三、四章,崔令江参与编写第四、五章,刘汝尊编写了第九、十章,并参与编写第七章。全书由杨玉英统稿。

由于本书涉及面较广,加之作者水平有限,可能存在不少疏漏,恳请读者提出宝贵意见。

作 者

内 容 简 介

本书通过对冲压变形的基本理论及各种冲压方法的成形特点及规律的分析,由浅入深地剖析复杂形状大型冲压件在成形过程中的受力与变形以及本身所特有的规律,并在此基础上进一步阐述冲压变形的控制、成形极限的确定与提高,以及成形过程中各种质量问题产生的机制与解决措施。

全书共十章,三大部分。第一部分(1~3章)主要介绍冲压成形的理论基础、共性规律及各种典型成形工序的受力与变形特点,为分析大型冲压件成形奠定必要的基础;第二部分(4~6章)也是本书的重点所在,重点介绍大型冲压件的成形理论,工艺方法,工艺问题的产生机制及对策,以及与破坏、起皱、形状精度不良等有关的失稳理论及成形难易的评价;第三部分(7~10章)主要介绍大型冲压件拉伸、修边、翻边等工序的模具设计基本原理与要点。

本书可供锻压专业及汽车、电气等生产部门的工程技术人员使用,也可供大专院校锻压专业、模具设计专业师生参阅。

目 录

第一章 冲压变形基础	1
§ 1-1 冲压成形的分类	1
§ 1-2 冲压变形的基本规律	7
§ 1-3 冲压变形过程的稳定性	15
§ 1-4 冲压变形的试验研究方法	17
第二章 板料冲压性能及新材料	23
§ 2-1 概述	23
§ 2-2 模拟试验	24
§ 2-3 模型试验	35
§ 2-4 方板对角拉伸试验	39
§ 2-5 拉伸试验	43
§ 2-6 冲压用新材料	54
第三章 板料成型的基本工序	58
§ 3-1 拉伸	58
§ 3-2 胀形	85
§ 3-3 弯曲	90
§ 3-4 翻边	114
第四章 拉伸失稳与破裂	129
§ 4-1 拉伸失稳与成形极限图	129
§ 4-2 FLD 的制作与应用	134
§ 4-3 变形状态图及其应用	141
§ 4-4 破裂与成形难易评价	146
第五章 压缩失稳与冲压中的起皱	164
§ 5-1 压缩失稳	164
§ 5-2 起皱的分类	166
§ 5-3 不同类型起皱的特点及判别	173
§ 5-4 影响起皱的因素	175
§ 5-5 消除起皱的措施	180
§ 5-6 面畸变及其对策	184
第六章 复杂形状零件的拉伸	200
§ 6-1 旋转体曲面零件的拉伸	200
§ 6-2 非旋转体曲面零件拉伸	206
第七章 拉伸模	236
§ 7-1 用于单动压力机上的拉伸模	236
§ 7-2 用于双动压力机上的拉伸模	242

第八章 斜楔模	250
§ 8-1 概述	250
§ 8-2 斜楔机构运动分析	251
§ 8-3 斜楔机构受力分析	254
§ 8-4 斜楔机构形状设计	256
§ 8-5 复位机构	258
§ 8-6 退件机构	260
§ 8-7 斜楔模结构	261
第九章 覆盖件修边工艺及模具	264
§ 9-1 覆盖件修边工艺	264
§ 9-2 修边模结构设计	266
第十章 覆盖件翻边工艺及模具	272
§ 10-1 覆盖件翻边工艺	272
§ 10-2 翻边模结构设计	273
参考文献	279

第一章 冲压变形基础

§ 1—1 冲压成形的分类

目前,用冲压方法加工的零件种类十分繁多,而且形状也日趋复杂,所以在生产中应用的冲压成形方法也日渐增多。在这种情况下,如果能正确地解决冲压成形工艺的分类问题,便有可能按类别对冲压变形进行研究。正确的冲压成形工艺的分类方法,应该能够明确地反映出每种类型成形工艺的共性,并在此基础上提供可以用共同的观点和方法去分析、研究和解决每一类成形工艺中各种实际问题的条件。在各种冲压成形工艺中毛坯变形区的应力状态和变形特点,是制定工艺过程、设计模具和确定极限变形参数的主要依据。所以只有能够充分地反映出变形毛坯的受力与变形特点的分类方法,才可能真正具有实用的意义。

绝大多数的冲压成形,毛坯虽然都是受平面应力状态或单向应力状态的作用,而产生的变形则是在三个方向上都存在的。同时,在板厚方向上的应力与变形的分布都是均匀的或是按已知的规律变化的(如弯曲)。这就提供了一个极为方便的条件,即可以根据各种冲压变形中毛坯变形区的应力状态和变形状态的特点进行冲压变形的分类。

一、冲压变形毛坯的分区

在冲压成形时,可以把变形毛坯分成变形区和不变形区。不变形区可能是已经经历过变形的已变形区或是尚未参与变形的待变形区,也可能是在全部冲压过程中都不参与变形的不变形区。当不变形区受力的作用时,叫做传力区。表 1—1 列出拉伸、翻孔与缩口时毛坯的变形区与不变形区的分布情况(图 1—1)。

表 1—1 冲压变形毛坯各区的划分

冲压方法	变形区	不变形区		
		已变形区	待变形区	传力区
拉伸	A	B	无	B
翻孔	A	B	无	B
缩口	A	B	C	C

从本质上看,各种冲压成形过程就是毛坯变形区在力的作用下产生变形的过程。由于变形区的形状与尺寸的变化,才会使冲压毛坯被加工成冲压件。所以变形区的变形是否顺利,是否出现变形的缺陷,都是直接关系到冲压加工的进展和所得成品零件的质量。因此,可以说毛坯变形区的受力情况和变形特点是决定各种冲压变形根本性质和进行正确分类的主要依据。

二、冲压变形区的应力与变形

绝大多数的冲压成形,变形区都是处于平面应力状态。一般在板料表面上不受力或受力不大的情况下,可以认为在板厚方向上产生的应力值为零。即使毛坯变形区产生塑性变形的应力是在板料平面内相互垂直的两个主应力,除弯曲变形外,在大多数情况下都可以认为这两个主应力在厚度方向上的数值是不变的。因此,可以把所有冲压变形方式按毛坯变形区的受力情况和变形特点从变形力学理论的角度归纳为以下四种情况,并分别研究它们的变形特点:

① 冲压毛坯变形区受两向拉应力的作用,在轴对称变形时,有以下两种情况

$$\sigma_r > \sigma_\theta > 0 \quad \text{且} \quad \sigma_t = 0$$

$$\sigma_\theta > \sigma_r > 0 \quad \text{且} \quad \sigma_t = 0$$

这两种情况在冲压应力图(图 1-2)中处于 GOH 和 AOH 范围内。与此相对应的变形方式是平板毛坯的局部胀形、内孔翻边、空心毛坯的胀形等。

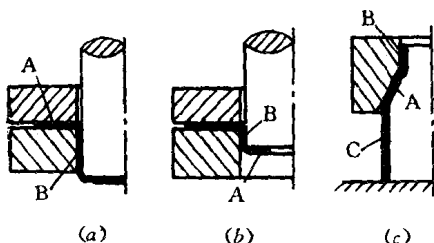


图 1-1 冲压变形毛坯各区划分举例

(a)拉伸;(b)翻孔;(c)缩口。

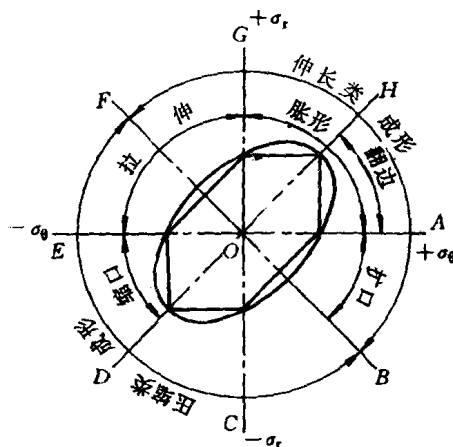


图 1-2 冲压应力图

② 冲压毛坯变形区受两向压应力的作用,在轴对称变形时,可以分为下面两种情况

$$\sigma_r < \sigma_\theta < 0 \quad \text{且} \quad \sigma_t = 0$$

$$\sigma_\theta < \sigma_r < 0 \quad \text{且} \quad \sigma_t = 0$$

这两种情况在冲压应力图中处于 COD 及 DOE 范围内。与此相对应的变形方式是缩口变形等。

③ 冲压毛坯变形区受异号应力的作用,而且拉应力的绝对值大于压应力的绝对值,在轴对称变形时,可以分为以下两种情况

$$\sigma_r > 0 > \sigma_\theta \quad \sigma_t = 0 \quad \text{及} \quad |\sigma_r| > |\sigma_\theta|$$

$$\sigma_\theta > 0 > \sigma_r \quad \sigma_t = 0 \quad \text{及} \quad |\sigma_\theta| > |\sigma_r|$$

这两种情况在冲压应力图中处于 GOF 及 AOB 范围内,与此相对应的冲压变形是扩口等。

④ 冲压毛坯变形区受异号应力的作用,而且压应力的绝对值大于拉应力的绝对值,在

轴对称变形时,可以分为以下两种情况

$$\sigma_r > 0 > \sigma_\theta, \sigma_z = 0 \quad \text{且} \quad |\sigma_\theta| > |\sigma_r|$$

$$\sigma_\theta > 0 > \sigma_r, \sigma_z = 0 \quad \text{且} \quad |\sigma_r| > |\sigma_\theta|$$

这两种情况在冲压应力图中处于 EOF 及 BOC 范围内,与此相对应的冲压变形方式是拉伸等。

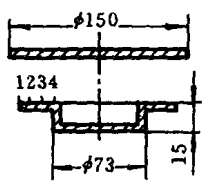
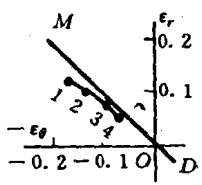
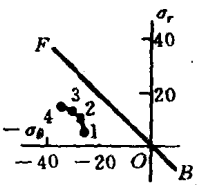
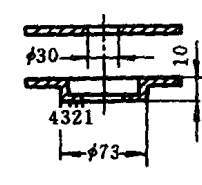
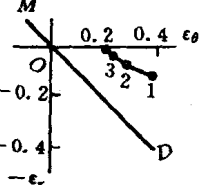
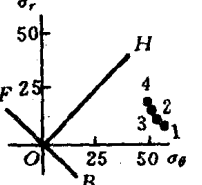
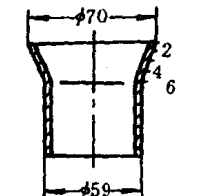
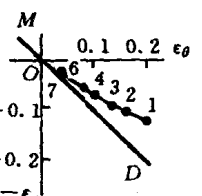
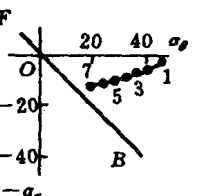
三、冲压成形的分类

根据上述四种受力情况的分析,可以把全部冲压变形分为两大类:伸长类变形和压缩类变形。当作用于毛坯变形区内的拉应力的绝对值最大时,在这个方向上的变形一定是伸长变形,称这种冲压变形方式为伸长类成形。当作用于毛坯变形区内的压应力的绝对值最大时,在这个方向上的变形一定是压缩变形,称这种冲压变形方式为压缩类成形。在图 1-2 中 FOB 线是伸长类成形和压缩类成形的分界线。

表 1-2 列出了用实验方法得到的几种典型的冲压成形工艺在毛坯变形区内应力分布的实测结果。把表 1-2 中各成形方法的毛坯变形区应力所处的位置与范围与图 1-2 对比,可以明确地判断它们应该属于那种类别的成形方法。因此,根据冲压变形区的应力状态,用这个方法可以对所有的冲压成形性质进行判断与识别。

经过对各种成形方法进行分类,可以对同属于一类变形的不同成形方法用相同的观点和方法去分析和解决冲压成形中产生的各种实际问题。

表 1-2 生产中常见的冲压成形变形区的应变与应力

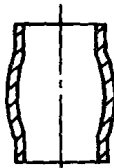
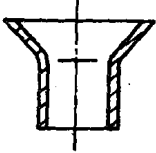
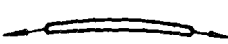
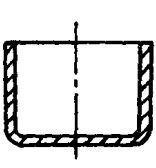
成形名称	简 图	应变状态	应力状态	所属类别
拉 伸				压缩类
翻 边				伸长类
扩 口				伸长类

(续)

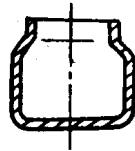
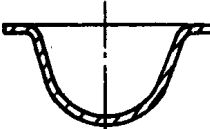
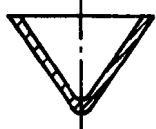
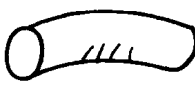
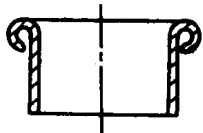
成形名称	简 图	应变状态	应力状态	所属类别
缩 口				压缩类
胀 形				伸长类
胀 形				伸长类
胀 形				伸长类

但是,实际生产中的冲压成形常是相当复杂的,有的成形方法可能有两个以上不同性质的变形区(如曲面零件的拉伸)。对于这样的成形方法,就不能简单地它属于伸长类成形或是属于压缩类成形,而是同一个毛坯上的不同变形区分别地反映出不同的变形特点。这时,每个不同性质变形区可以划分到不同类别的成形领域里。因此,对各种冲压成形方法还可进一步分为:具有单一变形区的成形方法和具有多个变形区的成形方法,如表1-3所示。具有单一变形区的成形方法的变形性质与变形区的变形性质是一致的。具有多个变形区的冲压成形方法的性质,可以分成三种情况来研究:第一种是以伸长类变形为主的,毛坯的变形区中伸长类变形区出现的问题是主要的(如平板弯曲、锥形件拉伸等),可以从伸长类变形的规律出发研究和解决成形的问题。第二种是压缩类成形为主的,毛坯变形区中压缩类变形区出现的问题是主要的(如管材弯曲等),可以从压缩类变形的规律出发研究和解决成形中的各种问题。第三种是兼有压缩类和伸长类变形特点的成形方法,不

表 1-3 冲压变形分类

冲 压 成 形 方 法				简 图	ϵ_{θ}	ϵ_{γ}
单 一 变 形 区 的 冲 压 成 形 方 法	伸 长 类 成 形	胀 形	平板毛坯的局部胀形		+	+
			空间毛坯的胀形		+	+
		扩 口			+	-
		伸长类翻边	内孔翻边		+	-
			伸长类平面翻边		+	-
			伸长类曲面翻边		+	-
	拉 形		拉 弯		+	-
			拉 形		+	-
	压 缩 类 成 形	直壁零件的拉伸			-	+

(续)

冲 压 成 形 方 法		简 图	ϵ_θ	ϵ_γ	
单一变形区的冲压成形方法	压缩类成形	压缩类平面翻边		-	+
		缩 口		-	+
		压缩类曲面翻边			
多数变形区的成形方法	伸长变形为主要特点的冲压成形方法	平板弯曲		+(外层)	-
		深度大的曲面零件的拉伸		+	+
		锥形件的拉伸		+	+
	点的冲压成形方法 压缩变形为主要特点	管材弯曲		-(内部)	
		特点的冲压成形方法 兼有伸长变形和压缩变形	曲面零件的拉伸		不同变形区的变形性质不同
	卷 边				

同的变形区出现的问题都是不容忽视的。由于冲压中出现的问题是两方面的,应该根据两种成形方法的不同特点采取必要的措施,解决两方面的问题。

§ 1—2 冲压变形的基本规律

冲压成形的本质就是使毛坯按要求完成可控制的变形过程。所有的冲压变形过程,其目的都在于使毛坯上某个部分或某几个部分以适当的方式进行变形,而同时又必须保证其他不应变形的部分不改变形状和尺寸。为了做到这一点,必须对冲压成形中毛坯的变形进行有效的控制。如果控制得不好,就会出现影响冲压质量的各种问题,甚至造成废品。在生产中常利用模具工作部分对毛坯的作用、摩擦与润滑、毛坯的形状与尺寸、材料的冲压性能和加载速度等,实现对冲压变形过程的控制,而冲压变形的基本规律又是正确地运用上述各种因素进行有效控制的理论基础。

一、毛坯在冲模力直接作用下的变形

在冲压过程中,成形毛坯的各个部分在同一模具的作用下,却有可能发生不同形式的变形,这种不同变形方式发生的可能性称为变形趋向性。冲压过程中毛坯的各个部分是否变形和以什么方式变形,以及能否借助于正确地设计冲压工艺和模具等措施来保证在进行和完成预期的变形的同时,排除其他一切不必要的和有害的变形等等,则是获得合格的高质量冲压件的根本保证,也是对于变形过程中变形趋向性及其控制方法进行研究的目的所在。因此,对各种冲压成形工艺方法所进行的变形趋向性及其控制的研究,是确定该种成形方式的各种工艺参数、制订工艺规程、设计模具和分析冲压过程中出现的某些产品质量问题的重要依据。

一般情况下,总是可以把毛坯划分为变形区和传力区。由于传力区起着把模具的作用力传给变形区的作用,所以它必然与变形区直接连接,并承受相同的作用力。作用于传力区和变形区的力在数值上相等,而且由模具施加的外力有直接的平衡关系。虽然传力区和变形区受相同的力作用,但由于它们的几何形状和尺寸不同,可能产生的变形方式和产生这种变形方式所必需的变形力也不一样。在这种情况下,毛坯上需要最小的变形力的部分,其内应力最先满足塑性条件并开始产生塑性变形。如果需要最小变形力的这一部分,在该特定力的作用方式下,有可能产生两种以上的变形方式,则最先实现的变形方式所需的变形力最小。为了实现对冲压变形的控制,使冲压成形过程能够顺利地、必须正确地选择冲压工艺参数,确定合理的工艺过程与冲模结构,以保证毛坯上应该变形的那部分产生的变形方式所需要的变形力最小。因此,这也是确定冲压工艺参数、制定工艺过程、设计冲模所必需遵循的基本原则。

概括起来,得出冲压变形趋向性的一个基本规律:在同一冲模外力直接作用下毛坯的传力区与变形区都有产生某种方式的塑性变形的可能,即都具有某种塑性变形的趋向。但是,由于受模具外力作用的各区的几何形状与受力方式的不同,在所有可能产生的变形方式中,需要变形力最小的部分以需要变形力最小的变形方式首先变形。这个规律可写成如下形式

$$F_{se} < F_{ij} \quad (1-1)$$

式中 F_{se} ——产生变形的 s 部分以 e 方式进行变形所需的变形力;

F_{ij} ——可能产生变形的 i 部分,可能产生的 j 变形方式所需的变形力;

i ——可能产生变形的部分($i=1,2,\dots,m$);

j ——可能产生的变形方式($j=1,2,\dots,n$)。

现举例说明这一趋向性规律。低碳钢零件的缩口成形如图 1-3 所示。模具的外力 F 作用于毛坯变形区 A 与传力区 B ,在其分界面上内力相等。变形区 A 可能产生的变形趋向是直径减小的缩口变形与起皱,而传力区 B 可能产生的变形趋向是厚度增大的压缩变形与纵向失稳。图 1-4 是由实验得到的 A 与 B 两个部分可能产生的四种变形方式的力与行程的关系 $F=f(h)$ 曲线。传力区 B 的两种可能变形趋向的 $F=f(h)$ 曲线,以 OAB (压缩变形)与 OAC (纵向失稳)示于图 1-4 的右半部。 A 点是这两种变形的分歧点。 OA 部分是稳定变形阶段,超过 A 点为不稳定变形阶段。所以对图 1-3 所示的缩口变形条件,传力区 B 可能稳定地传递的最大力为 29.50kN 。变形区 A 的两种可能变形方式的 $F=f(h)$ 曲线为 $ODEI$ (缩口变形)与 DOC (缩口变形中的失稳起皱),示于图 1-4 左半部。 D 点是这两种变形趋向的分歧点。在 OD 阶段缩口变形是稳定的,超过分歧点 D 以后,缩口变形成为不稳定状态,不能保证缩口变形的正常进行。对比图 1-4 中左半部与右半部的四个变形方式的 $F=f(h)$ 曲线可见,在本实验的具体条件下变形方式 OD 所需的变形力最小,所以在这四种变形方式中只能实现变形区的缩口变形,而且是在 OD 范围内,这相当于极限缩口系数为 $K=\frac{45}{59}=0.76$ 的缩口成形。

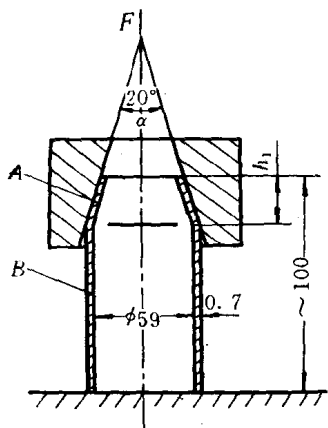


图 1-3 缩口变形

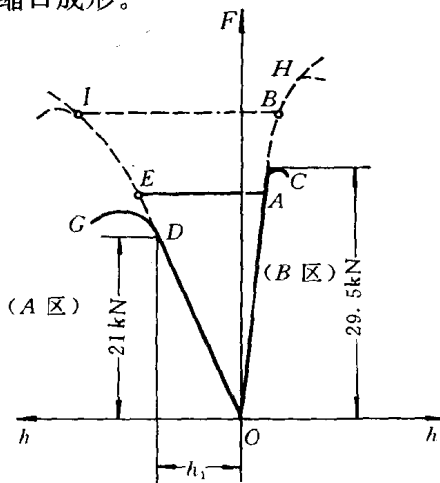
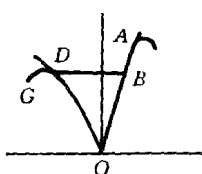
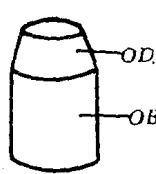
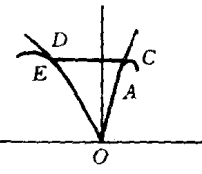
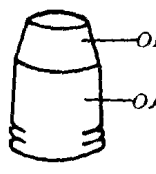
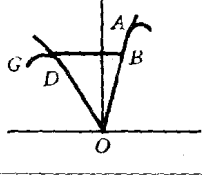
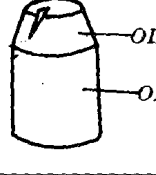
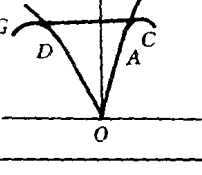
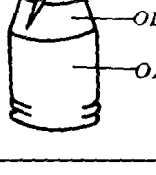


图 1-4 缩口时的变形趋向性

改变毛坯的直径与厚度,改变模具的结构(如加内外支撑等)和工作部分的几何形状(如 α 角等),也会使图 1-4 中左半部的曲线与分歧点的位置发生变化,如得到虚线 $ODEF$ 。对比新的 $F=f(h)$ 曲线可知,继续增加变形程度,作用力 F 将不断地增大。在四种变形方式中传力区 B 纵向失稳所需的变形力成为最小,所以它是首先实现的变形方式。但是如果缩口变形程度所需变形力小于或者相当于 E 点的位置,则由于在 OE 范围内缩口变形所需力最小,所以可以顺利地完缩口成形。由此可知,改变毛坯直径、厚度、高度和模具的结构,可以改变变形区与传力区的各种变形方式的力与行程的关系曲线及其对比关系,并得到不同的变形结果(表 1-4)。实质上,这就是用改变冲压工艺参数和模具结构等方法对变形实现控制的基本道理。

表 1-4 缩口时变形区与传力区的力与行程关系曲线的对比

$F=f(H)$ 曲线对比	变形结果	备 注
		缩口变形正常
		变形区缩口变形, 传力区失稳
		变形区缩口变形与起皱, 传力区正常
		变形区缩口变形与起皱, 传力区失稳

又例如图 1-5 所示的拉伸与翻边变形。在模具力的作用下, 外径为 D_0 、内径为 d 的圆环部分可能产生的变形方式是拉伸变形, 而内径为 d 、外径为 d 的圆环部分可能产生的变形方式是翻边变形。在这种情况下, 也可以用改变毛坯尺寸和模具结构的方法实现对冲压变形的控制。图 1-6 与图 1-7 是利用毛坯尺寸的变化, 得到不同变形的结果的实例。同时图中也给出了毛坯上不同部分之间不同的变形方式的 $F=f(h)$ 曲线的对比。从图中的曲线的对比可以看出, 在图 1-6 的条件下, 毛坯外部拉伸变形所需的力为 32.5kN, 小于毛坯内部翻边所需要的翻边力 43.2kN, 所以实现并完成的变形方式是拉伸变形。在图 1-7 的条件下, 由于毛坯的外径增大到 120mm, 所以拉伸变形所需的力增大为 63kN。这时由于毛坯内部翻边所需的变形力 43.2kN 小于 63kN, 所以实现并完成的变形方式是翻边变形。很明显, 在这两种情况下的变形过程的进展, 都完全符合于需要最小变形力的部位以变形力最小的方式变形的规律。

上述分析同样也适用于具有多个变形区和多个传力区的更加复杂的情况。例如在图 1-8 所示的缩口与扩口复合成形时, 可以利用毛坯上缩口变形区 A、扩口变形区 C 与传力区 B 的 $P=f(H)$ 曲线的对比来分析其变形的进展。

二、毛坯在诱发应力作用下的变形

由于模具外力的直接作用, 引起冲压毛坯的变形区内产生与外力作用方向一致的加载应力, 并在这个方向上使变形区产生与之相对应的变形和位移。如果变形区的变形和位