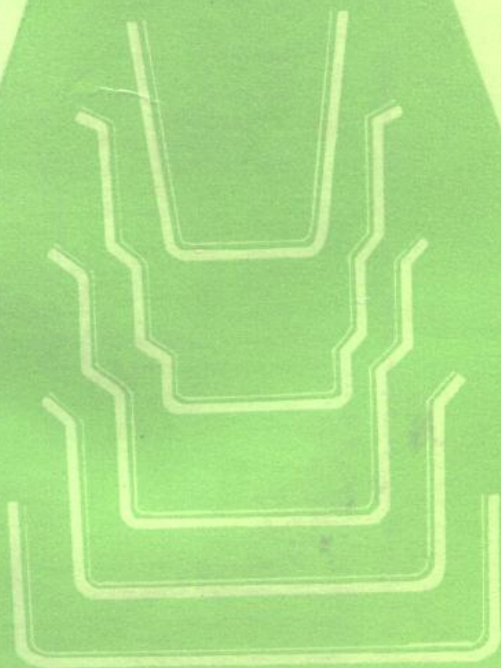


复杂形状零件引伸

薛启翔 编著



机械工业出版社

复杂形状零件引伸

薛启翔 编著



机械工业出版社

本书主要探讨复杂形状零件引伸工艺方法。全书共分十一章，分别阐述了复杂形状零件引伸机理、变形特点，适用复杂形状零件引伸的材料性能要求和相应性能试验方法，详细介绍不同形状的复杂零件引伸工艺分析和计算方法。并对引伸模具的调试和复杂形状零件引伸质量作了分类分析。有助于完善引伸工艺计算和解决现场实际问题。

本书可供从事冲压技术工作者使用，也可供其它有关人员参考。

复杂形状零件引伸

薛启翔 编著

责任编辑：刘彩英 封面设计：田淑文

责任印制：卢子祥

机械工业出版社出版（北京阜成门外百万庄南里一号）

（北京市书刊出版业营业登记证出字第117号）

重庆印制一厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

开本 787×1092 1/32 · 印张 9 3/8 · 字数 205 千字

1989年2月重庆第一版 · 1989年2月重庆第一次印刷

印数 9,001—2,630 · 定价：4.85 元

ISBN 7-111-00738-7/TG·174

前 言

引伸等冲压方法是现代工业生产中应用最广泛的一种加工方法。多年的实践表明，引伸工艺不仅建立在材料塑性变形理论的基础之上，而且也是以生产实践为基础发展起来的。引伸方法的广泛应用，不仅是它本身的特点为现代化工业生产所采用，同时是广大冲压技术工作者长期现场实践积累、总结的结果。现有有关冲压工艺和冲压模具设计的书籍中，对引伸部分多侧重于平底圆筒形件，而对复杂形状零件的引伸介绍甚少。至今，引伸工艺的许多问题，多数情况下还是靠经验设计和摸索试验。经验的积累岂非一朝一夕，而青年技术人员更希望尽快掌握前人总结的经验，以适应冲压加工技术的发展。

本书就是基于上述设想，对中、小型复杂形状零件的引伸，从变形机理、变形特点的分析角度，对不同形状的复杂零件引伸工艺作了详细分析和介绍，并配以大量实例，对现场出现的复杂零件引伸时的弊病作了分类分析。本书如能对从事冲压工艺和模具设计技术人员有所帮助，就是本人最大的快慰。

本书请中国模具协会顾问、高级工程师张荫朗同志审校，在此表示感谢。

由于本人水平有限，错误之处难免，敬请读者指教。

编者 1986年11月

目 录

第一章 引伸成形	1
一、简单形状零件引伸时的变形特点	1
二、复杂形状零件引伸时的变形	8
三、引伸中材料的起皱	9
四、材料破裂	12
五、引伸系数与引伸次数	15
第二章 引伸用的材料	20
一、引伸工艺对材料性能的要求	20
二、引伸用材料的化学成分和金相组织	22
三、材料冲压性能的试验方法	24
四、引伸常用材料牌号及性能	33
第三章 复杂旋转体件的引伸	42
一、旋转体件引伸用毛坯计算	42
二、无凸缘筒形件的工艺计算	49
三、有凸缘筒形件的工艺计算	62
四、复杂旋转体件的引伸方法	70
五、阶梯形零件的引伸	80
六、锥形件的引伸	84
七、球形零件的引伸	95
八、抛物线等曲线零件的引伸	107
九、复杂旋转体件引伸实例	112
第四章 ●非旋转体零件的引伸	120
一、矩(方)形件引伸毛坯计算	121
二、矩(方)形件引伸工艺计算	133
三、长圆形壳形件的引伸	151

四、棱锥台零件的引伸	162
五、椭圆形和椭圆形阶梯形件引伸	168
六、其它复杂形状零件的引伸	171
第五章 相关工序和模具	175
一、整形工序及整形模具	175
二、特种引伸	182
三、简易引伸模具	189
四、切边模	198
第六章 引伸模具工作部分尺寸计算	210
一、最后一次引伸工作部分尺寸计算	210
二、中间工序引伸模工作部分尺寸计算	211
三、引伸凸模、凹模制造公差确定	212
四、引伸模凸模和凹模之间间隙的确定	213
五、引伸模凸模和凹模圆角半径的确定	219
第七章 引伸力和压边力的计算	222
一、压边力的计算	222
二、引伸力的计算	224
三、引伸功的计算	227
四、引伸用设备选用	228
五、引伸时压边装置的选用	237
第八章 模具用材料和表面处理	253
一、主要工作零件使用材料	253
二、模具的表面处理	258
第九章 引伸模具的调试和引伸件质量分析	261
一、单动压床使用引伸模具的调试	261
二、双动压床使用引伸模具的调试	266
三、引伸件质量分析和防止措施	268
第十章 引伸工作的辅助工序	279
一、润滑	279

二、退火	281
三、酸洗	283
第十一章 模具的计算机辅助设计和制造	285
一、CAD与CAM的概念	285
二、模具CAD/CAM的硬件组成	287
三、冲压模具的CAD/CAM	287
四、引伸模具的 CAD/CAM 系统	290
参考文献	292

第一章 引伸成形

引伸成形是板料冲压立体成形中最常用的方法。板料引伸成形的过程就是金属板坯塑性变形的过程。引伸成形中最基本的形式为平底圆筒形件的引伸。但是引伸件的形状是多种多样的，由于引伸件几何形状和尺寸关系的不同，材料在引伸过程中的力——变形情况也不相同，因此，对引伸成形而言，不可能以单一的工艺方法来包含，过去以平底圆筒形件引伸为基础的基本方法，就难以解释和解决实际生产中各种不同形状引伸件的成形过程，有必要对各种类型的引伸过程给以剖析和探讨。但是，应该指出的是，平底圆筒形件引伸作为引伸成形中最简单、最典型的代表，仍可作为分析各种不同形式引伸过程的基础，并把平底圆筒形件引伸工艺方法作为探讨各类引伸的前提。

根据力——变形的规律，引伸件按其形状可分为侧壁为直壁和非直壁两大类，两类中又可分为旋转体件和非旋转体件两种（表 1-1）。按引伸件形状类别，将平底圆筒形件，方（矩）形件视为简单零件，而把其它各类，如锥形、抛物线形、不规则形状等，视为复杂形状零件。

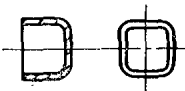
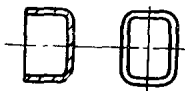
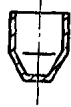
一、简单形状零件引伸时的变形特点

1. 平底圆筒形件的引伸

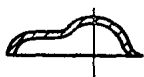
图1-1为圆筒形件的引伸过程，平板毛坯在凸模的压力作用下，通过凹模洞口，成形一开口空心零件。

当引伸凸模接触坯料时，引伸开始。从图1-1a中剖析一

表1-1 引伸件形状分类

分		类	图	例	属 性	
直 壁 零 件	非旋转体 零 件	平 底 件	方 形 件		简 单 形 状 零 件	
			矩 形 件			
	旋 转 体 零 件		圆筒形件			
						
	非 平 底 件		锥 底		复 杂 形 状 零 件	
			球 底			

(续)

分 类			图 例	属 性
非 直 壁 零 件	旋 转 体 零 件	锥 形 件		复 杂 形 状 零 件
		球 形 件		
		抛物线形件		
	非旋转体 零 件	不规则形件		

个扇形面 oab 区域，凸模下降，强迫坯料拉入凹模，原有坯料上的 oab 部分变成三个部分（图1-1b） $a'b'c'd'$ 、 $c'd'fe$ 和 efo ，随凸模继续下降， efo 部分紧贴在凸模底部不再变化，而凸模外缘材料继续收缩，直至全部转变成筒壁部分（ $c''d''ef$ 部分）。（图1-1c、d）。

用网格法可以直观筒形件引伸时的变形规律，圆筒形件引伸展开毛坯为圆形毛坯，可用同心圆和通过圆心的直线作成扇形网格（图1-2）。

观测图1-2b，分析平底圆筒形件引伸变形有如下特点：

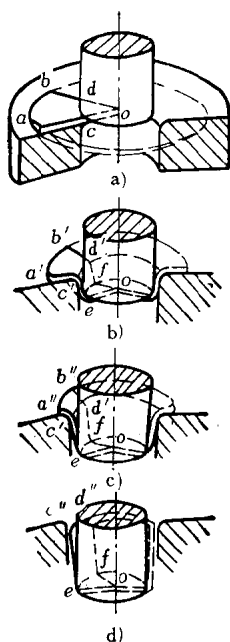


图1-1 圆筒形件的引伸过程

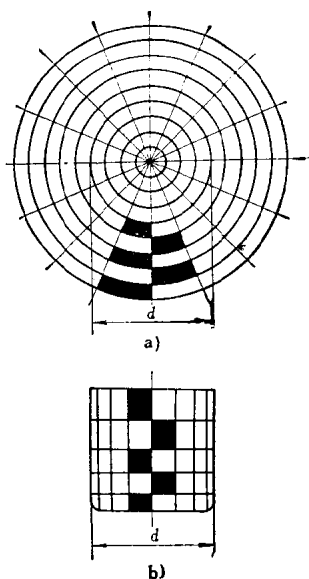


图1-2 引伸件网格图

a) 坯料上的网格图

b) 引伸件表面网格的变化

(1) 圆筒底部基本不发生变形, 坯料上的 ocd 部分 (图1-1a) 从引伸开始到终了, 平行移动而不发生材料间明显的相对移动;

(2) 坯料上的 $abcd$ 部分 (图1-1a), 在引伸中逐步转移到引伸件侧壁部分, 最后弧长 $\widehat{ab}$ 转变为 $\widehat{c''d''}$, $\widehat{ab} > \widehat{c''d''}$, 这种转移的结果, 使引伸件筒壁部分的高度 $ec'' > ac$, 也就是网格图上所表示的坯料扇形网格在筒形件侧壁变成长方形网格, 越接近筒形件口部, 网格被拉得越长。

(3) 引伸时, 凸缘变形区的材料在切向受到压缩, 而径向受拉伸 (图1-3)。

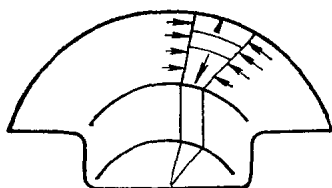


图1-3 引伸时凸缘的变形

筒形件引伸成形的实质就在于凸缘部分的变形。凸缘变形时，由于切向压应力的存在，有可能产生皱纹，这是引伸成形的特征之一，也是压缩类成形决定其极限变形程度的依据。为防止起

皱，需对凸缘施加压边力，连同材料的变形阻力等，成为引伸成形时的总引伸力。该引伸力由引伸凸模给出，并由侧壁传至凸缘。筒形件侧壁为了传递引伸力，必须有足够的承载能力，正常引伸情况下，侧壁强度最弱处为侧壁与底部转角处（常称危险断面），因此，危险断面承载能力大小成为引伸成形成功与否的决定因素。

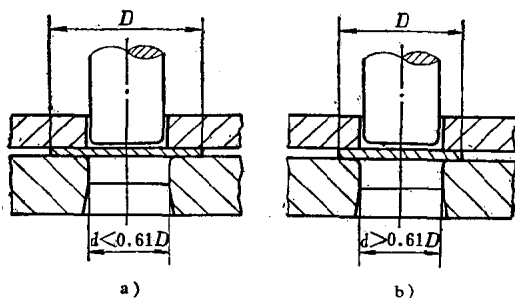


图1-4 凸缘部分材料料厚应变

a) 正、负应变 b) 正应变

(4) 引伸时材料厚度的变化

凸缘部分材料在厚度方向上的应变可能是正，也可能是负（图1-4）。

当 $d > 0.61D$ 时，在整个凸缘的厚度方向上都是增厚的

正应变，当 $d < 0.61D$ 时，在凸缘外圈是增厚的正应变，而内圈是变薄的负应变，分界圆的直径是 $0.61D$ ，在分界圆附近，有一个宽度不大的环形部分，其应变是变化的，由引伸开始的正应变转为后期的负应变。

对于侧壁部分，由平板坯料一次引伸成筒形件的情况下，筒形件口部要变厚，这是由于凸缘外缘材料增厚的缘故。侧壁材料受轴向拉应力作用，材料经过凹模洞口圆角部分时，除收缩外，还发生弯曲变形，致使侧壁部分材料变薄，处于侧壁与底部转角处的材料除拉伸外，同时有弯曲变形，变薄量最大。

图1-5表示圆筒形件引伸时的板厚变化情况。图中第一极小相应于凸模圆角处，第二极小是由于凹模圆角过小所致。

筒形件多次引伸的情况下，侧壁壁厚变薄量很大，最大变薄可达材料厚度的30~40%，且口部变薄量明显增大

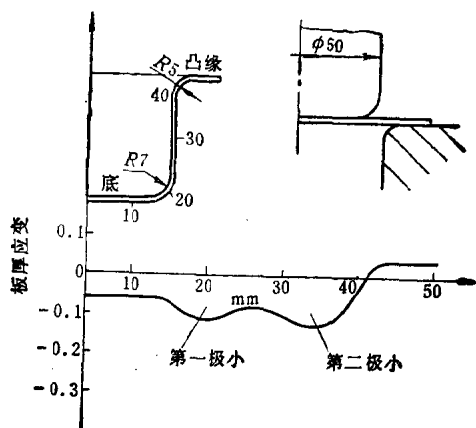


图1-5 圆筒形引伸件板厚变化图

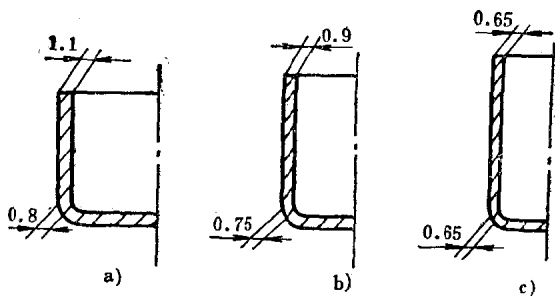


图1-6 圆筒形件多次引伸时的壁厚变化图 ($t_0=0.9\text{mm}$)

a) 首次引伸 b) 二次引伸 c) 三次引伸

(图1-6)。

2. 平底方(矩)形件的引伸

平底方(矩)形件由圆角部分和直边部分组成,圆角部分恰似圆筒的 $\frac{1}{4}$,可以按圆筒形件引伸考虑,而直边部分可以认为是纯弯曲。

圆角部分引伸是依靠凸缘的收缩,凸缘有起皱的可能,引伸时材料厚度要发生变化,这些与圆筒形件引伸时的情况相似。

尽管可以将方(矩)形件引伸分为圆筒形件引伸和直边纯弯曲考虑,但是应该指出的,方(矩)形件是一个整体,同一横截面上相邻各点的变形必然是连续的,圆角与直边交点A、B(图1-7)不会是应力应变的突变点,因此从圆角中点O到直边中点C的应变是逐步减小的,圆角部分凸缘区引伸多余材料将向直边部分转移,从网格图可以看出,直边中点附近网格基本不变,而圆角与直边相邻区域的网格拉长且倾斜,表明材料的流向。

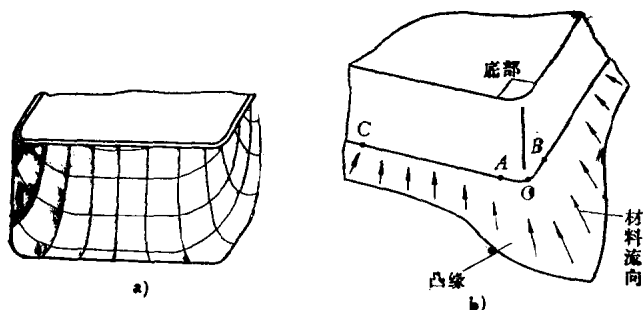


图1-7 方(矩)形件引伸变形图
a) 变形网格图 b) 引伸时材料流动图

由于圆角和直边部分变形程度不一致，产生材料流动速度差，在圆角与直边相邻处产生剪切变形，因此，方(矩)形件引伸时在侧壁上部会产生破裂。

二、复杂形状零件引伸时的变形

复杂形状零件包括非直壁零件和非平底的直壁零件，引伸过程如图1-8所示。

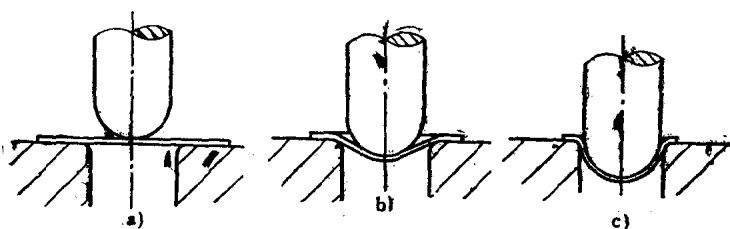


图1-8 复杂形状零件的引伸过程

当凸模接触坯料时，材料变形开始，随凸模下降，坯料外缘收缩，此时凸缘变形区的变形情况和简单形状零件引伸相似。

在引伸过程中，进入凹模洞口内的材料要继续发生变形，使凸模与坯料的接触面逐渐增大，直至坯料完全包在凸模成形表面。

复杂形状零件引伸时存在两个变形区，一是材料进入凹模洞口前的凸缘变形区（常称外变形区），一是处于凹模洞口内侧的变形区（常称内变形区）。

凸缘变形区的材料变形时，与平底圆筒形件引伸时凸缘变形区的应力应变状态相似，存在切向压缩和径向拉伸应力，因此和圆筒形件引伸一样，材料厚度要发生变化，有起皱的可能性等。

存在内变形区是复杂形状零件引伸的独具特性。进入凹模洞口内的材料有切向（圆周方向）的收缩，极易产生皱纹。为了抑制切向压缩应力，须在径向增大拉应力，这又增大了材料破裂的可能性。

对不规则形状零件引伸时，为了有效的成形，常在某些部位配以胀形成形，即把引伸与胀形复合应用。

根据把冲压成形划分为伸长和压缩两大类成形的观点，引伸属压缩类变形，而胀形成形属伸长类变形，把伸长类变形与压缩类变形复合使用，对复杂形状零件引伸成形，在许多情况下是十分有利的。

三、引伸中材料的起皱

起皱即失稳。如果在板条两端（图1-9）施以轴向力 P ，当 P 达到某一临界值 P_c 时，板条就会产生弯曲隆起的现象，这种现象称为受压失稳。板条抵抗受压失稳的能力，与板条的相对厚度，材料的机械性能有关。板条愈长，厚度愈小，愈易失稳，材料的弹性模数 E 愈大，抵抗失稳的能力也愈大。

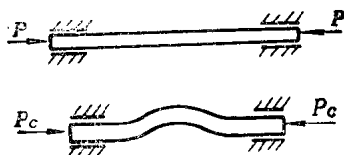


图1-9 板条受压失稳图

1. 凸缘变形区起皱

引伸时凸缘起皱与板条的受压失稳相似。凸缘变形区的切向压缩是导致凸缘起皱的力的来源（图1-10）。

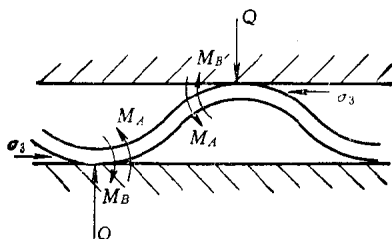


图1-10 凸缘部分起皱的力

M_A : 由 σ_3 产生的力矩 M_B : 由 Q 产生的力矩

凸缘变形区起皱的界限条件，罗曼诺夫斯基的经验公式，防皱最小压边力为：

$$P = 96 \times 10^{-3} \left(\frac{R_0}{r_2} - 1.1 \right) R_0 \cdot \sigma_b \cdot \frac{1}{t} \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

式中 σ_b ——材料的抗拉强度极限 (N/mm²)，

R_0 ——毛坯半径，

r_2 ——引伸凹模半径（图1-11），

t ——料厚。

由上式可知，是否起皱与材料强度和引伸参数有关。