

# 薄板冲压成型过程的 计算机仿真与应用

钟志华 李光耀 编著

41



北京理工大学出版社

# 薄板冲压成型过程的 计算机仿真与应用

钟志华 李光耀 编著

北京理工大学出版社

## 内 容 简 介

本书以汽车车身的制造为应用背景,对金属薄板冲压成型过程的力学机理、理论和计算机仿真技术作了全面、系统的论述,对冲压成型过程中出现的一些物理缺陷,如冲压件在成型过程中的拉裂、起皱、变薄、成型后的回弹以及模具的磨损等作了全面的理论上的解释,并讨论了如何利用计算机仿真技术预测这些缺陷,从而对冲压成型工艺和模具设计进行优化。书中还通过许多应用实例说明计算机仿真技术的作用,并对不同的仿真算法进行了比较。

本书可作为高等院校相关专业师生的教学用书及工程技术人员的参考书,也可对相关技术管理人员作为决策参考书。

## 图书在版编目(CIP)数据

薄板冲压成型过程的计算机仿真与应用/钟志华,李光耀编著. —北京:北京理工大学出版社, 1998. 6

ISBN 7-81045-374-2

I. 薄… I. ①钟… ②李… II. 薄板-冲压:成型轧制计算机仿真 IV. TG386.41

中国版本图书馆 CIP 数据核字(98)第 02259 号

责任印制:刘季昌 责任校对:陈玉梅

北京理工大学出版社出版发行

(北京市海淀区白石桥路7号)

邮政编码100081 电话(010)68912824

各地新华书店经售

国防科工委印刷厂印刷

\*

787×1092毫米 16开本 10.25印张 245千字

1998年6月第1版 1998年6月第1次印刷

印数:1—1500册 定价:16.50元

※图书印装有误,可随时与我社退换※

# 出 版 说 明

为贯彻汽车工业产业政策，推动和加强汽车工程图书的出版工作，中国汽车工程学会成立了“汽车工程图书出版专家委员会”。委员会由有关领导机关、企事业单位、大中专院校的专家和学者组成，其中心任务是策划、推荐、评审各类汽车图书选题。图书选题的范围包括：学术水平高、内容有创见、在工程技术理论方面有突破的应用科学专著和教材；学术思想新颖、内容具体、实用，对汽车工程技术有较大推动作用，密切结合汽车工业技术现代化，有高新技术内容的工程技术类图书；有重要发展前景，有重大使用价值，密切结合汽车工程技术现代化需要的新工艺、新材料图书；反映国外汽车工程先进技术的译著；使用维修、普及类汽车图书。

出版专家委员会是在深化改革中，实行专业学会、企业、学校、研究所等相互结合，专家学者直接参与并推动专业图书向高水平、高质量、有序发展的新尝试。它必将对活跃、繁荣专业著作的出版事业起到很好的推动作用。希望各位同仁、专家积极参与、关心、监督我们的工作。限于水平和经验，委员会推荐出版的图书难免存在不足之处，敬请广大同行和读者批评指正。

本书由钟志华和李光耀编著，龚尧南主审，经专家委员会评审通过、推荐出版。

**汽车工程图书出版专家委员会**

# 前 言

薄板冲压成型是一种十分重要的制造技术,在汽车、航空、电器和国防等工业中都有广泛的应用。薄板冲压成型在汽车制造中尤为重要,因为汽车覆盖件大都采用薄板冲压而成。汽车覆盖件的冲压成型过程不仅影响汽车外观,更影响汽车制造的成本以及新产品开发的周期,因而影响整个汽车产品的综合经济效益。

冲压模具与工艺设计是薄板冲压成型技术的一个关键。由于冲压成型过程是一个非常复杂的物理过程,传统的模具与工艺设计只能以许多简化和假设为基础进行初步设计计算,然后大量地依赖经验与反复的试模、修模来保证零件的品质。这样的方法用于新产品、尤其是象汽车覆盖件一类的大型复杂零件的模具与工艺设计,不仅时间长、费用高,还往往难以保证零件的品质。随着计算机技术、有限元方法及计算机图形学等相关学科的发展,薄板冲压成型过程的计算机仿真技术日趋成熟并在冲压模具与工艺设计中发挥越来越大的作用。冲压成型过程的计算机仿真实质上就是利用数字模拟技术分析给定模具和工艺方案所冲压的零件变形的全过程,从而判断模具和工艺方案的合理性。每一次仿真就相当于一次试模的过程。因此成熟的仿真技术不仅可以减少试模次数,在一定条件下还可使模具和工艺设计一次合格从而避免修模。这就可大大缩短新产品开发周期,降低开发成本,提高产品品质和市场竞争力。

本书的目的就是要对薄板冲压成型过程计算机仿真技术及应用作一个较为全面的介绍。前三章主要介绍薄板成型中涉及的基本问题、传统的模具与工艺设计方法及其局限性、冲压成型过程计算机仿真技术及应用概况,第四章至第八章系统地论述了冲压成型过程中涉及到的主要物理现象、力学模型、有限元方法等。第九章着重介绍了一些应用实例和典型的冲压成型仿真算例。

在本书的编写过程中,作者力求考虑到不同读者的兴趣和需要的差别,内容上深浅结合,并尽可能采用常用表达方式和术语。应当指出的是,薄板冲压成型过程的计算机仿真技术仍处在迅速发展,本书所涉及的内容主要包括被实践证明行之有效的方法,一些处于研究中的方法,包括作者本人正在研究和验证的方法和理论并未提及。

本书的出版得到中国汽车工程学会和北京理工大学出版社的大力支持,也得到北京理工大学出版社许多同志的大力帮助,北京航空航天大学的龚尧南教授仔细审阅了全稿并提出了许多宝贵改进意见,作者在此一并表示诚挚的感谢。

作 者

1997年12月于长沙

# 目 录

|                                        |        |
|----------------------------------------|--------|
| <b>第一章 薄板冲压成型技术及其重要性</b> .....         | ( 1 )  |
| 第一节 引言.....                            | ( 1 )  |
| 第二节 薄板冲压成型的分类.....                     | ( 2 )  |
| 第三节 薄板冲压成型过程中的物理现象.....                | ( 5 )  |
| 第四节 薄板冲压成型过程的常见缺陷及产生原因.....            | ( 8 )  |
| <b>第二章 传统的冲压成型工艺与模具设计方法及其局限性</b> ..... | ( 11 ) |
| 第一节 回弹量的计算与补偿.....                     | ( 11 ) |
| 第二节 拉裂的预测与避免.....                      | ( 15 ) |
| 第三节 起皱的预测与防止.....                      | ( 16 ) |
| 第四节 毛坯形状与尺寸的设计计算.....                  | ( 16 ) |
| 第五节 成型力的计算.....                        | ( 17 ) |
| <b>第三章 冲压成型过程的计算机仿真技术及作用</b> .....     | ( 18 ) |
| 第一节 冲压成型过程计算与仿真的发展过程及各种模型和算法的优缺点.....  | ( 18 ) |
| 第二节 冲压成型过程计算机仿真的原理及步骤.....             | ( 24 ) |
| 第三节 核心内容与关键技术.....                     | ( 27 ) |
| 第四节 配套的实验技术.....                       | ( 29 ) |
| 第五节 计算机仿真技术在工艺与模具设计中所能解决的问题.....       | ( 30 ) |
| <b>第四章 冲压成型过程的力学模型与有限元求解方法</b> .....   | ( 38 ) |
| 第一节 基本假设.....                          | ( 38 ) |
| 第二节 应力与应变的基本概念.....                    | ( 39 ) |
| 第三节 基本方程.....                          | ( 42 ) |
| 第四节 一般非线性问题的线性化过程.....                 | ( 46 ) |
| 第五节 有限元方法.....                         | ( 49 ) |
| 第六节 接触界面的离散处理.....                     | ( 51 ) |
| 第七节 运动方程的离散形式.....                     | ( 54 ) |
| 第八节 有限差分法.....                         | ( 56 ) |
| 第九节 显式求解法.....                         | ( 58 ) |
| 第十节 隐式求解法.....                         | ( 60 ) |
| <b>第五章 板壳理论及有限元方法</b> .....            | ( 64 ) |
| 第一节 概论.....                            | ( 64 ) |
| 第二节 Hughes - Liu 壳单元理论.....            | ( 65 ) |
| 第三节 Belytschko - Tsay 壳单元.....         | ( 72 ) |
| 第四节 其它单元及计算结果比较.....                   | ( 76 ) |
| <b>第六章 板壳弹塑性变形理论及计算方法</b> .....        | ( 80 ) |

|             |                             |              |
|-------------|-----------------------------|--------------|
| 第一节         | 概论                          | (80)         |
| 第二节         | 各向同性弹塑性本构方程及计算方法            | (81)         |
| 第三节         | 各向异性弹塑性模型                   | (84)         |
| <b>第七章</b>  | <b>冲压成型中模具与工件间接触界面的处理</b>   | <b>(87)</b>  |
| 第一节         | 接触界面处理中的基本问题                | (87)         |
| 第二节         | 接触搜寻法 I —— 主从面法             | (88)         |
| 第三节         | 接触搜寻法 II —— 级域法             | (98)         |
| 第四节         | 接触搜寻法 III —— 一体化算法          | (102)        |
| 第五节         | 不同接触搜寻法的优缺点比较               | (105)        |
| 第六节         | 接触力计算方法 I —— 罚函数法           | (107)        |
| 第七节         | 接触力计算法 II —— 拉格朗日乘子法        | (108)        |
| 第八节         | 接触力计算法 III —— 防御节点法         | (113)        |
| <b>第八章</b>  | <b>冲压模具与工具间接触面上摩擦力的计算</b>   | <b>(117)</b> |
| 第一节         | 摩擦机理                        | (117)        |
| 第二节         | 经典摩擦定律                      | (120)        |
| 第三节         | 非经典摩擦定律                     | (122)        |
| 第四节         | 有限元方法中摩擦力的计算                | (124)        |
| 第五节         | 不同摩擦定律对摩擦力分布的影响             | (126)        |
| <b>第九章</b>  | <b>仿真技术在冲压成型工艺与模具设计中的应用</b> | <b>(129)</b> |
| 第一节         | 概论                          | (129)        |
| 第二节         | 隐式/显式有限元法比较                 | (129)        |
| 第三节         | 回弹量的有限元计算方法                 | (142)        |
| 第四节         | 成型过程中起皱和破裂的预测               | (145)        |
| <b>参考文献</b> |                             | <b>(154)</b> |

# 第一章 薄板冲压成型技术及其重要性

## 第一节 引言

薄板冲压成型是利用金属塑性变形的特点,通过一定方式对金属薄板施加压力,使其产生所需的塑性变形,从而获得满足所需的各种形状的零件。金属冲压成型技术历史悠久,如早期人们就用来制作金属器皿和钱币。但机械式薄板成型直到19世纪人们发明手动压力机才算真正开始。此后人们开始研究金属的力学性能和成型工艺,冲压成型设备和模具得到迅速发展,薄板成型从手工作坊式逐步走向工厂化,大大地提高了劳动生产率。随着汽车技术的出现和不断成熟,薄板成型技术得到了空前的发展。人们不断地改进冲压机床以及与之配套的各种设备,并对材料的成型性能进行了深入研究,以大量的科学实验为基础,提出了指导冲压成型过程设计计算的各种理论、经验公式和工艺准则等。

自70年代以来,随着有限元方法的不断成熟以及计算机技术的迅速发展,人们开始更多地采用数值分析手段研究成型过程的各种物理现象,以帮助更准确地对冲压成型过程进行设计和计算。与此同时模具的CAD和CAM技术不断发展和成熟。目前模具的CAD/CAM系统已在技术发达国家完全实用化,并且冲压过程的计算机分析与仿真技术(CAE)已能在工程实际中帮助解决传统方法难以解决的模具设计和冲压工艺设计难题,如拉裂预测、回弹计算和起皱预测等。由于薄板冲压成型过程包含十分复杂的物理现象,它的CAE技术有待进一步完善和实用化。尽管如此,冲压模具的CAD/CAE/CAM一体化技术是国内外科研人员和工程师们正在追求的一种理想的高新技术。通过应用CAD/CAE/CAM一体化技术,人们可以大大缩短新产品模具和工艺的设计以及模具的制造周期,降低模具制造成本,提高模具和冲压件产品品质。

薄板冲压成型技术得以持续的快速发展,主要归功于它的许多优点,如材料利用率高,产品尺寸精度稳定,生产操作简单,容易实现自动化;大规模生产有加工成本低、生产效率高特点。薄板类零件通过优化设计可达到高强度、高刚度和重量轻的要求,因此被广泛地用于汽车、飞机、电器、仪器、仪表和各种民用轻工产品中。尤其是近年来,随着汽车和家用电器的飞速发展,薄板冲压成型技术及其装备在许多发达国家得到高度重视。有人说汽车技术的竞争就是薄板冲压成型技术的竞争,这在一定意义讲是有道理的,因为汽车车身的设计和制造是影响整个汽车产品效益的最关键因素,而汽车车身的零件绝大部分是通过薄板冲压成型来制造的。薄板冲压成型技术不仅影响车身的制造成本,还影响一个新产品的开发周期,因而影响汽车产品的市场投放时间和市场竞争力。

薄板冲压成型技术包含几个方面的内容,主要有压力机械,冲压模具,冲压工艺,薄板材料,与之紧密相关的还有润滑技术和生产自动化技术等。在这些内容中,冲压模具和冲压工艺技术又是关键的技术,也是薄板冲压成型中的主要难点所在。这是因为其他内容如压力机和板材对不同形状的零件来说是相对固定的或者说变化不大,而不同形状和尺寸的零件则

要求完全不同的模具和工艺方案。在给定的压力机和冲压板材等条件下，只有合理的模具结构和尺寸，合理的工艺方案才可能生产出合格的产品。而对一个给定的零件来说，一套合理的模具和工艺方案的确定，不仅要靠实践经验和理论计算，还往往离不开反复地试模和修模。冲压成型过程的计算机仿真正是为了能够尽快地确定合理的模具和工艺方案而发展起来的。本书的目的就是要在总结现有薄板成型技术的基础上，介绍薄板冲压成型过程计算机仿真的原理和方法，以及它在冲压模具设计和冲压工艺设计方面的应用。由于冲压成型过程的计算机仿真，是通过运动力学工具在计算机中来真实地反映冲压过程中产生的各种客观的物理现象，所以必须全面地了解冲压成型过程的实质，了解影响它的全部因素，才能把握住主要内容。本章将主要介绍不同类型的成型过程和特点以及成型技术的关键内容。

## 第二节 薄板冲压成型的分类

薄板冲压成型可按薄板在冲压过程中的变形状态分成不同类型，最基本的类型有纯弯曲和纯拉胀两种，如图 1.1 和图 1.2 所示。在图 1.1 中，薄板受纯弯曲变形，因此其中性面不改变其尺寸，中性面一侧的材料产生拉伸变形，而另一侧产生压缩变形。在图 1.2 中，薄板只受板料平面内的拉伸力，靠拉伸中板料的厚度减薄来达到成形的目的。在实际生产中，单纯的拉胀成型应用并不多，而大量采用的是弯曲和拉胀的组合成型。

在工程应用中，人们更多地根据零件的形状对薄板成型进行分类，如图 1.3 所示的拉深，图 1.4 所示的翻边，图 1.5 所示的胀形，图 1.6 所示的缩口，图 1.7 所示的翻孔和图 1.8 所示的扭曲等。所有这些成型过程都包含弯曲和拉胀的组合变形，但它们所涉及的模具类型甚至压力机的类型都不一样，在成型过程中遇到的问题也不一样。如在拉深中，拉裂可能是最易产生的缺陷；而在翻边中，回弹补偿可能成为一个主要难题。

应当指出，图 1.3 至图 1.8 中给出的是一些典型的简单形状。但实际生产中，更多的是

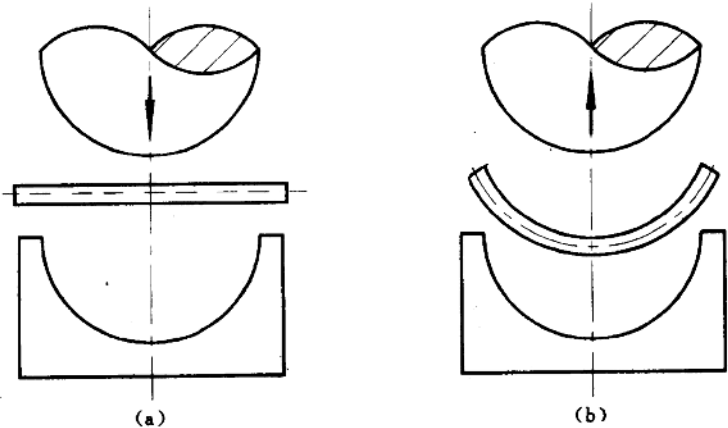


图 1.1 薄板的纯弯曲  
(a) 变形前；(b) 变形后

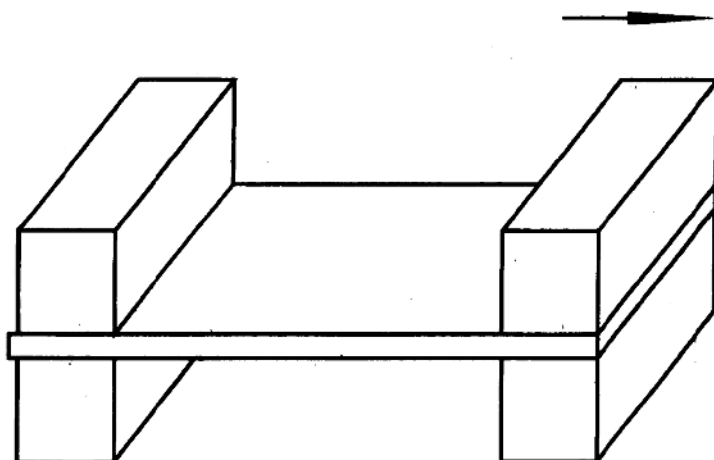


图 1.2 薄板的纯拉胀

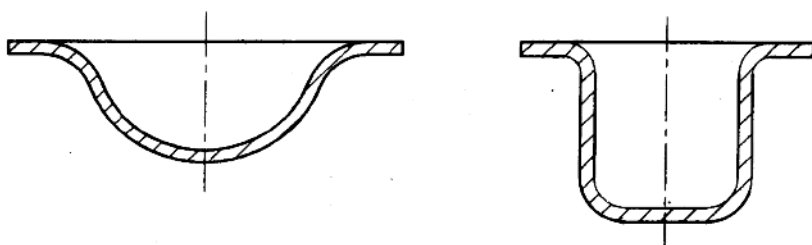


图 1.3 采用拉深成型的工件

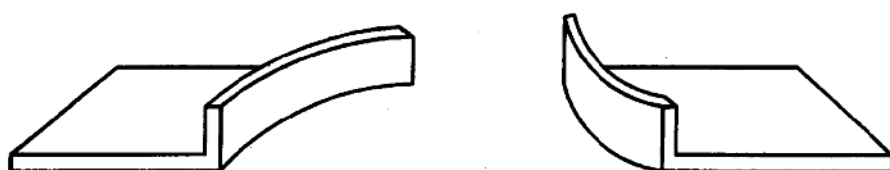


图 1.4 采用翻边成型的工件

不规则的组合形状，如汽车的外覆盖件和内饰件一般都比较复杂，即使在同一道工序中，也可能难以用上述的单一一种成型类型来描述，如图 1.9 所示的零件就属于这种类型。该零件

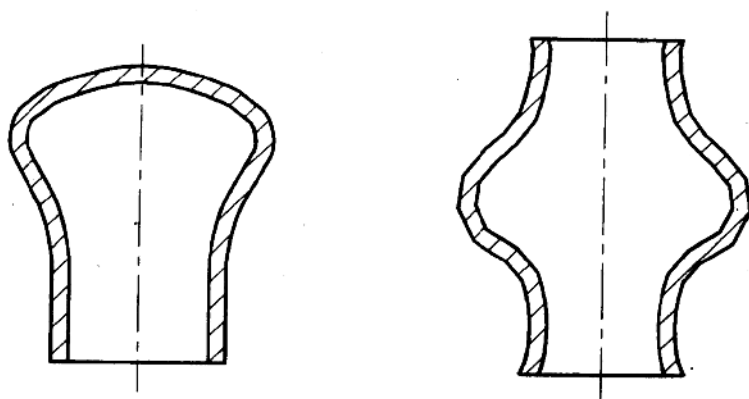


图 1.5 薄板的胀形成型

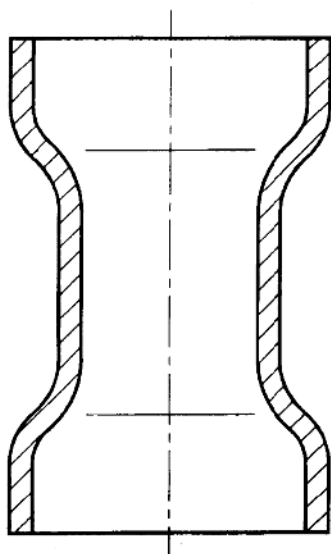


图 1.6 薄板的缩口成型

一方面不具备对称性，另一方面它同时包含拉深和翻孔成型的内容。

属于薄板成型范畴的还有其他类型的工艺方法，如落料，冲孔，切断（切边），旋压和旋薄等。这些成型方法尽管也是利用压力来完成，但在本质上与前面提到的其他成型方法有区别。例如落料、冲孔和切断属于一种分离工序，它不仅使材料发生塑性变形，更重要的是利用塑性变形达到极限后的材料断裂性能；而旋压和旋薄则是使毛坯材料逐渐按顺序发生塑性移动而达到成型目的的。尽管这些成型工艺方法也很重要，但不是本书讨论的范畴。

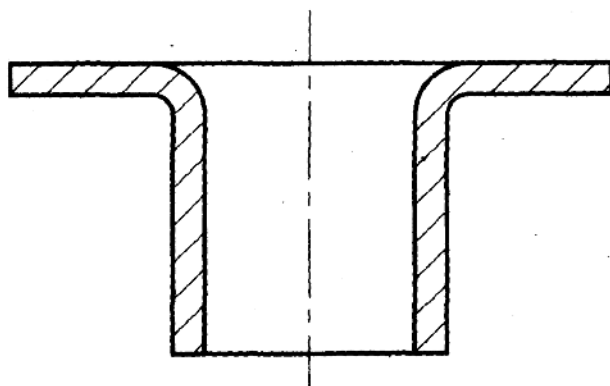


图 1.7 薄板的翻孔成型



图 1.8 薄板的扭曲成型

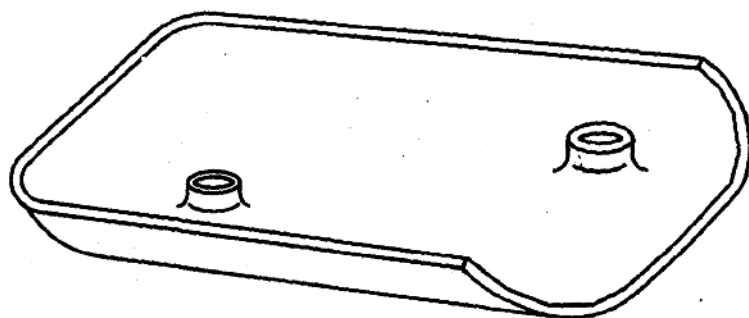


图 1.9 包含拉深和翻孔的冲压件

### 第三节 薄板冲压成型过程中的物理现象

尽管冲压成型过程可分为不同的类型，但从了解薄板从毛坯到零件这个变形过程的角度看，我们可把不同类型的成型过程归纳为一个统一的力学过程。在这个过程中，薄板毛坯具

有一定的形状和尺寸，它可以是一块平板，也可以是一个圆筒，或者经过冲压成型的毛坯。然后，在薄板的毛坯上施加以法向表面力和切向表面力。作用在毛坯上的法向和切向表面力的分布及变化历程就取决于不同的成型类型所决定的模具和工艺参数。这个法向表面力就是模具对冲压件的法向接触力，而这个切向表面力就是模具与冲压件间的摩擦力。在这样一个统一的力学过程模型的基础上，可总结出冲压成型过程中的四大重要物理现象，即接触碰撞现象；摩擦磨损现象；大位移、大转动和大变形现象；弹塑性变形现象。

## 1. 接触碰撞现象

接触碰撞现象是十分普遍的一种物理现象，它是两个物体表面间产生的相互作用的一个过程。在机械工程领域，接触碰撞是十分重要的物理现象，它不仅存在于象机械传动，冲压成型和机械联接等人为设置的装置和系统中，也在象汽车碰撞这类人们不愿发生的过程中产生重要影响。接触碰撞常引起复杂的冲击波，使受撞物体或系统产生复杂的变形或响应。当两接触表面相对运动速度足够大时，它们之间的撞击力可摧毁其中一个表面或同时摧毁两个表面。接触碰撞过程的计算是最难的工程计算问题之一，因为它涉及一个求解具有未知边界条件的边值问题。当两物体发生接触时，该两物体的接触状态与它们的变形和运动状态有关，而两物体的变形和运动状态又影响它们之间的接触状态，这就使得处于接触状态的物体的边界状态确定变得很棘手，这个问题在大变形状态下尤为突出。将摩擦现象另当别论的话，处理接触碰撞边界必须解决如下基本问题：①找出给定条件下的实际接触边界；②计算出作用在实际接触边界上的接触力。应当注意这两个问题具有相互依赖的关系，也就是说其中一个问题的解决依赖另一个问题的同时解决。解决上述两个问题时可以利用的基本条件是：i. 牛顿第三定律即作用力与反作用力定律；ii. 两个接触表面不可相互穿透即不允许出现如图 1.10 所示的现象；iii. 通常情况下两接触表面不发生粘接或冷焊，即接触力只能为压应力。

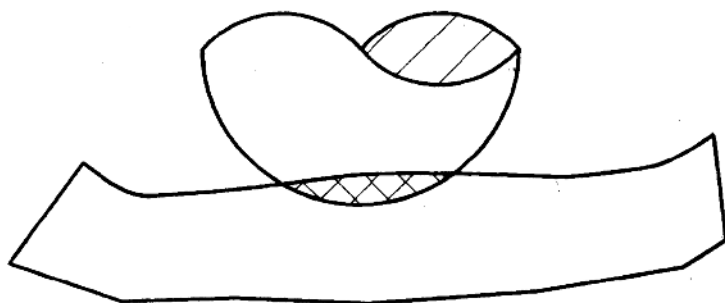


图 1.10 相互接触的两个边界间的相互穿透现象

## 2. 摩擦磨损现象

摩擦是与接触不可分割的一个物理现象，它表现为对两接触表面相对运动的阻碍作用。在薄板冲压成型过程中，有时要利用摩擦，而有时要避免摩擦以到达控制材料流动的目的。摩擦作用除与法向接触力有关外，还与两接触表面的物理和化学特性、表面粗糙度等许多因素有关。正因为如此，摩擦的计算是很复杂的，并与接触力的计算不可分割。摩擦计算的第一

步就是要根据给定的表面特性和运动状态,选定一个合适的摩擦定律。目前用得最多的还是经典的库仑摩擦定律。该定律假设两个相互接触的边界点要么处于纯粘附状态,要么处于滑移状态。当作用在接触点上的切向力小于某一临界值时,接触点处于纯粘附状态,这时两接触点不产生相对的切向滑移,作用在接触点上的摩擦力的大小与作用在接触点周围的力有关。这个临界值就等于法向接触力乘以摩擦系数。当作用在接触点上的切向力达到临界值时,两接触点将产生相对滑移,这时作用在接触点上的摩擦力大小只与法向接触力大小和摩擦系数有关,而摩擦力的方向与两接触点的相对滑移方向相反。尽管库仑摩擦定律在一定程度上能反映物体宏观运动的趋势,但已被证明有缺陷。因此有人提出新的摩擦定律用来计算摩擦力的大小。无论我们采用什么摩擦定律,摩擦计算要解决的问题主要有两个,即求出摩擦力的大小和方向。在解决这个问题中,只有一个假定的可以通用的已知条件,即摩擦力的方向与两接触点的相对滑移方向相反。由此不难理解摩擦力的计算依赖大量的实验作基础。

磨损是摩擦作用的一种反映,它是冲压成型模具失效的主要形式。摩擦磨损的快慢就决定了模具的使用寿命。值得一提的是,增加模具表面的耐磨性是提高模具寿命的有效途径,但不是唯一途径。如果模具材料和表面耐磨性不变,减小法向接触应力峰值和摩擦力峰值同样可以减轻磨损,从而提高模具的使用寿命。由于磨损机理十分复杂,如何有效地定量计算仍有待进一步探讨。

### 3. 大位移、大转动和大变形现象

由于冲压成型的零件形状通常与其毛坯形状差异很大,冲压成型中不可避免地会遇到大位移、大转动和大变形问题。尽管大位移、大转动和大变形所引起的计算方面的问题没有接触和摩擦引起的计算问题大,但它们导致的计算困难也足够成为单独的一类难题。大变形的出现使得线性的应变和线性的应力应变关系不再有效。大位移和大转动的产生导致物体的构形不断改变,从而需要考虑构形处于变化中的物体的平衡方程。与大变形同时发生的通常是非线性弹性变形和塑性变形,但我们将塑性变形作为另一类问题单独处理。对于常用的冲压成型用的金属材料来说,单纯的弹性变形可较好地用线弹性模型来描述,故一般可不考虑非线性弹性变形问题。由大位移、大转动和大变形引起的非线性问题统称为几何非线性问题,它的处理有多种途径,将在以后详细讨论。

### 4. 弹塑性变形现象

金属塑性变形的属性是薄板冲压成型技术的基础,冲压成型中毛坯与零件形状间的差距全靠塑性变形来填补。在冲压成型的加载过程中,工件在发生塑性变形的同时伴有弹性变形。冲压成型过程完成后,模具对工件的作用消除,大部分弹性变形也跟着消失,但塑性变形得以保留。由于冲压成型零件中常存在残余应力,因此也有部分弹性变形残存。尽管塑性变形是科学界和工程界长期以来的重要研究课题,但其在复杂条件下的计算问题仍没有完全解决。对冲压成型过程来说,塑性变形的计算是关系到整个工艺过程合理设计的关键问题。塑性变形的计算必须解决两个基本问题即:①材料在什么样的复合应力条件下开始产生塑性变形;②材料在塑性变形中遵循什么样的规律。第一个问题涉及到材料的屈服准则,而第二个问题涉及到材料的流动准则。在屈服准则中还要考虑材料的塑性硬化问题。

我们知道,不同的金属材料服从不同的屈服准则和流动准则,并且同一种材料在不同的

温度等外界条件下也可能服从不同的屈服准则和流动准则。这就意味着对于一种特定的材料来说,塑性变形计算模型将依赖于大量的实验工作。值得庆幸的是,国内外研究塑性变形的专家学者已做了大量的实验和理论工作,提出了适用范围较广的金属屈服准则和流动准则,如常用的 VonMises 准则。但同一准则对不同的具体材料来说可能要求不同的特性参数,这些参数的确定必须靠精心设计的实验来获取。

以上讨论的是冲压成型过程中所包含的主要物理现象,正是这些物理现象对冲压成型的全过程起着决定性的影响。应当指出的是,以上的讨论是针对正常或者说处于理想状态下的冲压过程而言的。如果一个冲压过程由于某种原因处于非理想状态,那么还可能产生其他重要的物理现象。

例如,当一个冲压件的局部应变超越该材料的成型极限时,可能产生局部的裂纹,这时冲压件就成为废品。因此,裂纹的产生与扩展在某些情况下也成为冲压成型过程中的一个重要物理现象,但它不是必然要产生的,所以没有普遍的意义。而前面谈到的四大类物理现象,对任何一个冲压成型过程都会产生,所以具有普遍意义,因而也是讨论的重点。

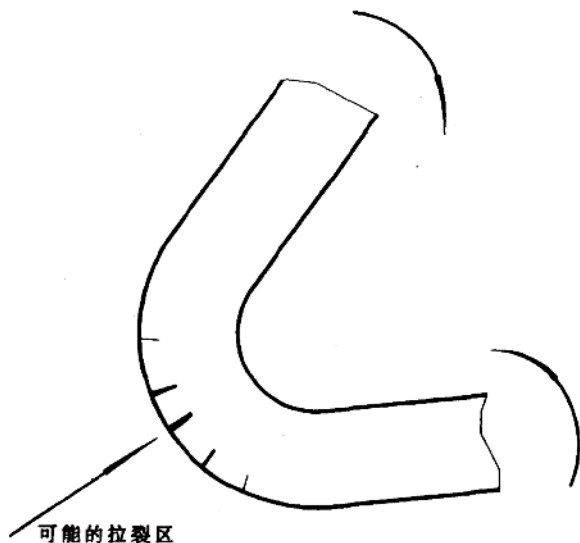


图 1.11 纯弯曲也可引起的微裂纹

## 第四节 薄板冲压成型过程的常见缺陷及产生原因

从第三节分析可知,薄板冲压成型是一个包含多种复杂物理现象的工艺过程。它的复杂性使得对它的设计和控制变得非常困难,这就是薄板冲压成型过程常常产生许多缺陷而又难以纠正的原因。下面我们来看看一些常见的缺陷及其产生的原因。

### 1. 拉裂

拉裂是深冲工艺产生的常见缺陷。根据程度不同可将拉裂分为微观拉裂和宏观拉裂两种情况。微观拉裂指工件中已产生肉眼难以看清的裂纹,尽管裂纹深度很浅,但一部分材料已失效。宏观拉裂是指工件已出现肉眼可见的裂纹或断裂。宏观拉裂通常主要由薄板平面内的过度拉胀所引起,而微观拉裂即可由单纯的拉胀引起,也可由单纯的弯曲引起,如图 1.11 所示。无论是微观拉裂还是宏观拉裂都是由于局部拉应变过大所致。对于单纯的弯曲件来说,拉裂相对容易避免一些,因为这时可用简单的办法较为准确地计算弯曲区的最大拉应变。而对于复杂的深拉件来说,用传统的方法很难准确地计算给定条件下材料的塑性流动情况,因而也就难以事先判别一道深拉工序是否产生拉裂缺陷。一旦发现工件被拉裂,可能难以一下子找出有把握的解决办法,这同样是因为传统的计算方法难以准确预测工艺条件改变后的材料

流动状况。为了消除拉裂现象，必须降低拉裂区的拉应变值。要做到这一点，可采用不同的途径如调整压边力，改善润滑条件，增加辅助工序等，这些方法的目的是为了改变法向接触力和切向摩擦力的分布，从而改变材料的流动状态。值得注意的是，我们不应在消除一个部位拉裂的同时，引起另一个部位产生拉裂或其他类型的缺陷。

## 2. 起 皱

起皱是薄板冲压成型中另一常见缺陷，它的产生原因正好与拉裂的产生原因相反，是由于局部压应力过大引起薄板失稳所致。起皱虽然不象拉裂那样削弱零件的强度和刚度，但它影响零件的精度和美观性。如果在中间工序发生起皱还可能影响下一道工序的正常进行。消除起皱的最直观的办法是增加起皱处的法向接触力，但这有导致其他部位被拉裂的危险，因此消除零件的起皱也不是一件简单的事，它同样要求能准确地预测材料的流动状况。

## 3. 回弹补偿不当

由于冲压件弹性变形的存在，卸载后零件会发生回弹，从而使冲压件的尺寸与模具的工作表面尺寸不符。为了补偿回弹所引起的冲压件的尺寸改变，人们广泛采用调整模具形状和尺寸的方法。如图 1.12 所示的“V”形件，冲压后会产生回弹从而使成型后零件的弯角  $\alpha$  增大。为了补偿这种回弹，可将模具的弯角减小。如果模具弯角的减小量正好等于零件卸载后

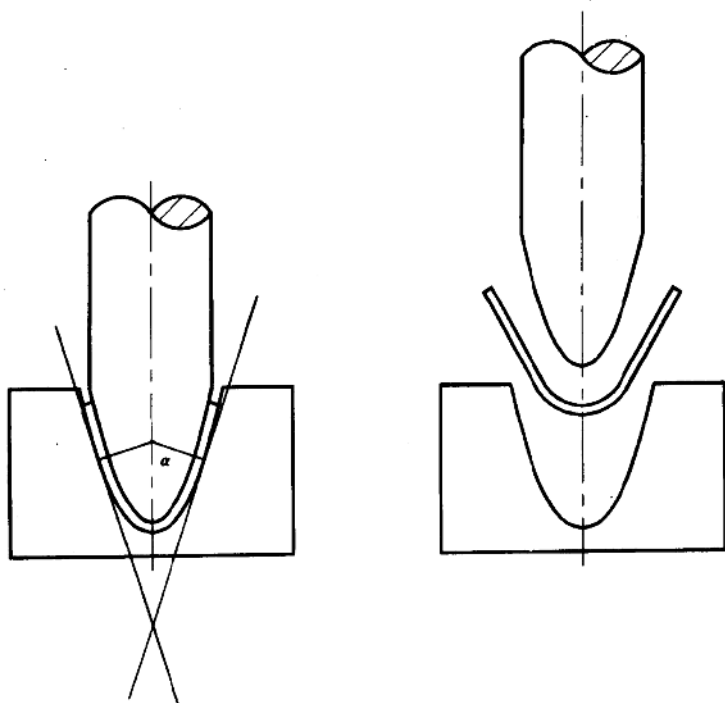


图 1.12 V 型件卸载后由于回弹引起的弯角增大

回弹引起的弯角增大量，那么所获零件的尺寸就是设计时确定的理想尺寸。要做到这一点，必须能精确地计算出弯曲件的回弹量。遗憾的是精确地计算一般冲压件的回弹量是一件十分困难的事，这就是造成回弹补偿不当的根本原因。

以上所列出的仅是几大类冲压成型件缺陷及其产生原因。这几类缺陷是以后讨论中重点关心的问题。薄板冲压成型中，还可能还有其他许多缺陷，如表面滑痕和啃削等。但这些缺陷与前面所列的有本质上的不同，前者属于局部的现象，一般难以通过计算准确描述，而后者与零件的整体变形有关，有可能通过计算定量地描述。以下主要讨论如何通过计算来克服冲压成型中可能产生的缺陷。