

板料成形 CAE 分析教程

陈文亮 编著



机械工业出版社
China Machine Press



板料成形 CAE 分析教程

陈文亮 编著



机械工业出版社

板料成形过程的有限元模拟技术是评估板材成形性和模具设计正确性的有效工具,在工业发达国家已得到广泛的应用。随着我国汽车、飞机等工业的发展,对板料成形 CAE 分析的需求日益迫切。本书正是一本满足板料成形过程模拟实际应用的入门教材。

本书全面、系统地介绍了板料成形 CAE 分析技术各个方面的问题。全书共分 7 章,内容包括绪论、有限元网格划分技术、覆盖件成形模具设计、板料成形参数设置、后置处理技术、板料成形分析软件 DYNAFORM 和板料成形分析应用实例。全书内容系统性较强、阐述详细、重点深入、图文结合。理论和工程应用紧密结合,通过对 4 个由浅入深的应用实例的完整介绍,读者可很快掌握应用板料成形 CAE 分析软件解决工程实际问题的技能。

本书除作为高等工科院校材料加工工程、汽车、模具和飞行器制造工程等专业本专科的教材外,也可供从事钣金工艺、模具设计制造等工作的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

板料成形 CAE 分析教程/陈文亮编著.

-北京:机械工业出版社,2005.2

ISBN 7-111-16174-2

I. 板… II. 陈… III. 板材冲压-成型-计算机辅助分析-教材 IV.TG386.41

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 013273 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑:王 平 版式设计:杨 洋

北京铭成印刷有限公司印刷·新华书店北京发行所发行

2005 年 3 月第 1 版第 1 次印刷

787mm×1092mm 1/16·16 印张·372 千字

0001-5000 册

定价:26.00 元

凡购本图书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

本社购书热线电话:(010) 68326294

封面无防伪标均为盗版

前 言

板料成形过程是一个大挠度、大变形的塑性变形过程,涉及金属板在拉深和弯曲的复杂应力状态下塑性流动、塑性强化,及其引起的回弹、起皱和破裂等问题。同时,冲压过程也是一个复杂的多体接触的力学分析问题。因此,对冲压成形过程中板材成形性而言,单凭经验很难预先估计,致使模具设计正确性也难以评价,问题只有在模具加工以后才能暴露出来,给模具调试造成极大困难,甚至导致模具报废。板料成形 CAE 分析技术是解决这一难题的有效手段,已经成为国际塑性加工领域的一个研究热点。从 20 世纪 70 年代后期开始,经过二十多年的发展,板料成形数值模拟技术逐渐走向成熟,已形成了商品化的板料成形分析 CAE 软件,得到了许多工业部门的重视和应用,美国的通用、福特,德国的大众、奔驰,日本的丰田、日产等大型汽车制造公司,都已开始应用板料成形分析 CAE 软件指导板料成形件的开发和生产,产生了很好的经济效益。随着我国汽车、飞机等工业的发展,板料成形过程分析的需求日益迫切,板料成形 CAE 软件在我国的应用必将越来越广泛。在现有的板料成形 CAE 分析技术方面的著作中,大多侧重于板料成形有限元数值模拟的理论和方法,涉及板料成形 CAE 技术实际工程应用的技术资料还很少。本书正是立足于 CAE 技术在板料成形过程模拟中的实际应用为目标而编著的。

全书共分 7 章。第 1 章概述了板料成形 CAE 分析技术的现状,板料成形缺陷,板料成形过程分析方法,板料成形过程模拟的应用和板料成形 CAE 分析的一般过程;第 2 章介绍了有限元网格划分的常用算法、复杂曲面的有限元网格划分和有限元网格优化方法;第 3 章讨论了覆盖件成形模具设计方法,包括确定冲压方向、压料面的设计、工艺补充面的设计、拉深筋的设计和工艺切口的设计;第 4 章完整地论述了板料成形参数设置,其中包括毛坯定义、接触的选择、模具的运动和加载、拉深筋的设置和输出控制;第 5 章介绍了板料成形 CAE 的后置处理技术,其中包括等值线生成、数据场彩色云图生成、成形极限图和动画模拟显示;第 6 章介绍了板料成形分析软件 DYNAFORM 的软件结构、DYNAFORM 软件的基本功能和 DYNAFORM 软件使用过程中网格自动划分、网格模型检查、成形参数设置和后置处理的应用技巧;第 7 章完整地论述了如何采用板料成形分析软件进行板料成形过程的分析,第 1 个例子为 S 梁的成形过程分析,旨在建立板料成形过程分析的基本概念和一般流程,第 2 个例子为正装式双动拉深成形过程分析,旨在让读者了解实际覆盖件成形模具的成形分析过程,第 3 个例子为模面设计与成形过程分析,可以让读者了解如何利用板料成形分析软件进行覆盖件成形模具的快速设计,第 4 个例子介绍回弹分析的过程。

本书作者在写作过程中参考了大量的相关手册与资料,并且总结了多年来从事板料成形分析软件开发和应用的心得。在本书的编写过程中,得到了南京航空航天大学丁秋林教授、张林教授的悉心指导,得到了刘克素、徐金波、李经天、李书涛、陈军、曾建江和翟建军等的全力支持和帮助,吴元华对书中的实例进行了多次反复验证,郭永涛、徐勇、任

艳芳等参与了整理资料的工作。作者对曾经支持、帮助和关心过本书出版的各位同行、参考文献作者、审稿者和出版者致以诚挚的谢意。

陈文亮

目 录

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 板料成形过程分析概述	1
1.2 板料成形缺陷分析	5
1.2.1 起皱	5
1.2.2 破裂	6
1.2.3 回弹	7
1.3 板料成形过程分析方法	7
1.4 板料成形过程模拟的应用	8
1.4.1 起皱的预测和消除	8
1.4.2 破裂的预测和消除	8
1.4.3 压边力的确定	9
1.4.4 回弹计算	10
1.5 板料成形过程数值模拟的一般过程	11
第 2 章 有限元网格划分技术	13
2.1 有限元网格划分概述	13
2.2 有限元网格划分的常用算法	15
2.2.1 映射法	15
2.2.2 Delaunay 三角剖分法	16
2.2.3 四叉树法	17
2.3 复杂曲面的有限元网格划分	19
2.3.1 Delaunay 三角形网格划分	20
2.3.2 铺砌法 (Paving) 混合网格划分	21
2.4 有限元网格优化方法	25
2.4.1 网格优化常用方法	25
2.4.2 网格单元局部优化	28
第 3 章 覆盖件成形模具设计	32
3.1 概述	32
3.2 确定冲压方向	33
3.3 压料面的设计	35
3.4 工艺补充面的设计	36

3.5	拉深筋的设计	37
3.6	工艺切口的设计	39
第 4 章	板料成形参数设置	40
4.1	概述	40
4.2	毛坯定义	40
4.2.1	毛坯形状尺寸对成形的影响	40
4.2.2	材料模型	41
4.2.3	单元公式的选择	46
4.3	接触的选择	49
4.3.1	接触点的搜寻	49
4.3.2	接触搜寻方法	50
4.3.3	接触力的计算	51
4.3.4	接触类型和接触参数介绍	52
4.4	模具的运动和加载	55
4.5	拉延筋的设置	56
4.5.1	拉延筋的种类和用途	56
4.5.2	板料成形模拟中的拉延筋设置	57
4.6	输出控制	58
4.6.1	时间控制参数	59
4.6.2	接触控制参数	59
4.6.3	砂漏控制	60
4.6.4	输出结果控制	60
4.6.5	自适应的网格细分技术	61
第 5 章	后置处理技术	63
5.1	后置处理概述	63
5.2	等值线生成	64
5.2.1	等值线生成方法	64
5.2.2	等值线生成实例	65
5.3	数据场彩色云图生成	66
5.3.1	数据场彩色云图生成方法	66
5.3.2	数据场彩色云图生成实例	66
5.4	成形极限图	67
5.4.1	成形极限图概述	68
5.4.2	成形极限图的显示方法	69
5.4.3	成形极限图应用实例	69
5.5	动画模拟显示	70
5.6	其他辅助功能	71

第 6 章 板料成形分析软件 DYNAFORM	73
6.1 概述	73
6.2 DYNAFORM 软件结构	73
6.2.1 菜单栏 (MENU BAR)	73
6.2.2 图标栏 (ICON BAR)	74
6.2.3 显示窗口 (DISPLAY WINDOW)	76
6.2.4 显示选项 (DISPLAY OPTIONS)	77
6.2.5 鼠标功能 (MOUSE FUNCTIONS)	78
6.2.6 规格 (SPECIFICATIONS)	79
6.2.7 几何数据 (GEOMETRY DATA)	79
6.2.8 推荐命名规范 (RECOMMENDED NAMING CONVENTION)	79
6.2.9 对话框 (DIALOG BOXES)	80
6.2.10 属性表 (PROPERTY TABLES)	80
6.2.11 配置文件 (CONFIGURATION FILE)	81
6.3 DYNAFORM 软件的基本功能	83
6.3.1 文件管理 (File)	83
6.3.2 零件层控制 (Parts)	84
6.3.3 前处理 (Preprocess)	84
6.3.4 模面设计 (DFE)	85
6.3.5 毛坯尺寸估算 (BSE)	86
6.3.6 快速设置 (QS)	86
6.3.7 工具定义	87
6.3.8 选项菜单	88
6.3.9 辅助工具	89
6.3.10 视图选项	90
6.3.11 分析	91
6.4 网格自动划分	91
6.4.1 工具网格划分	91
6.4.2 毛坯网格划分	93
6.5 网格模型的检查和修补	94
6.5.1 自动翻转法线 (AUTO PLATE NORMAL)	95
6.5.2 边界线显示 (BOUNDARY DISPLAY)	96
6.5.3 长宽比检查 (ASPECT RATIO CHECK)	96
6.5.4 内角检查 (INTERIOR ANGLE CHECK)	97
6.5.5 单元重叠检查 (OVERLAP ELEMENT)	97
6.5.6 法向检查 (PLATE NORMAL)	98
6.5.7 单元尺寸检查 (ELEMENT SIZE)	98

6.5.8	锥度检查 (CHECK TAPER)	98
6.5.9	翘曲变形检查 (CHECK WARPAGE)	99
6.5.10	特征线检查 (FEATURE LINE)	99
6.5.11	锁模 (DIE LOCK)	99
6.5.12	时间步长 (TIME STEP)	100
6.5.13	截面线 (SECTION CUT)	100
6.5.14	创建单元 (CREATE ELEMENT)	101
6.5.15	移动节点 (MOVE NODE)	101
6.5.16	检查重合节点 (CHECK COINCIDENT NODES)	101
6.5.17	间隙修补 (GAP REPAIR)	101
6.5.18	自动修补 (AUTO REPAIR)	102
6.6	成形参数设置	103
6.7	后置处理	112
6.7.1	图标栏	113
6.7.2	绘制变形过程	113
6.7.3	等值线图	114
6.7.4	时间历史曲线	115
6.7.5	成形极限图 (FLD)	118
6.7.6	厚度/变薄分布图	120
6.7.7	材料流入	122
6.7.8	录制 AVI 电影文件和 E3d 三维演示文件	122
第 7 章	板料成形分析应用实例	124
7.1	概述	124
7.2	S 梁的成形过程分析	124
7.2.1	数据库操作	124
7.2.2	划分网格	128
7.2.3	定义压料面	133
7.2.4	快速设置	135
7.2.5	分析参数设置与求解计算	139
7.2.6	后处理分析	141
7.2.7	分析报告	147
7.2.8	小结	148
7.3	正装式双动拉延 (Toggle Draw) 成形过程分析	149
7.3.1	导入工具模型 (Nastran 模型)	150
7.3.2	划分曲面网格	151
7.3.3	检查网格	151
7.3.4	偏置凹模网格创建上压料面和凸模	153

7.3.5	分离上压料面和凸模	154
7.3.6	创建毛坯网格	157
7.3.7	定义毛坯及其材料和属性	158
7.3.8	定义工具	159
7.3.9	定义等效拉延筋	161
7.3.10	工具自动定位	163
7.3.11	定义工具运动曲线	164
7.3.12	检查工具运动	168
7.3.13	定义成形参数和控制参数	168
7.3.14	提交工作到求解器进行计算	169
7.3.15	后处理分析	170
7.3.16	分析报告	174
7.3.17	小结	175
7.4	模面设计与成形过程分析	176
7.4.1	导入零件几何模型并保存	177
7.4.2	划分网格	178
7.4.3	检查并修补网格	179
7.4.4	冲压方向调整	180
7.4.5	镜像网格	180
7.4.6	内部填充	182
7.4.7	外部光顺	182
7.4.8	创建压料面	183
7.4.9	创建过渡面 (Addendum)	185
7.4.10	切割压料面	187
7.4.11	展开曲面	189
7.4.12	BSE (毛坯尺寸估计)	190
7.4.13	生成毛坯网格	194
7.4.14	快速设置	194
7.4.15	提交工作	195
7.4.16	后处理分析	196
7.4.17	分析报告	199
7.4.18	小结	202
7.5	回弹分析	202
7.5.1	导入零件几何模型并保存	203
7.5.2	划分网格	204
7.5.3	检查并修补网格	205
7.5.4	冲压方向调整	207
7.5.5	创建压料面	208

7.5.6 创建毛坯	210
7.5.7 快速设置 (Quick Setup)	213
7.5.8 提交工作	214
7.5.9 成形阶段后处理分析	214
7.5.10 回弹设置	216
7.5.11 回弹结果分析	219
7.5.12 分析报告	221
7.5.13 小结	221
附录 回弹分析的 DYNA 文件 rail_front.dyn.....	224
参考文献	241

第 1 章

绪 论

第 1 章

1.1 板料成形过程分析概述

板料塑性成形是利用金属板料在固体状态下的塑性,通过模具及外力作用而制成零件的一种加工方法。与切削加工等方法相比,板料塑性成形不仅具有更高的生产效率,而且能获得更高的材料利用率,因而在国民经济中得到了极为广泛的应用,特别是在航空、宇航、汽车、造船、电器、五金等工业部门,板料塑性成形都是必不可少的主要加工方法。

板料成形过程是一个大挠度、大变形的塑性变形过程,涉及金属板在拉深和弯曲的复杂应力状态下的塑性流动、塑性强化,以及引起的起皱、破裂和回弹等问题。同时,冲压过程也是一个复杂的多体接触的力学分析问题。因此,对冲压成形过程中板材的成形性而言,单凭经验很难预先估计,致使模具设计正确性难以评价,往往要等模具加工后试模时问题才能暴露出来,给模具调试造成极大困难,甚至导致模具报废。利用板料成形过程模拟技术可以及早发现问题,改进模具设计,从而大大缩短模具调试周期,降低制模成本。板料成形分析可在多方面对冲压生产提供有力的技术支持:在设计工作的早期阶段,评价成形件及其模具设计、工艺设计的可行性;在试冲试模阶段,进行故障分析和解决实际发生的问题;在批量生产阶段,用于零件的缺陷分析、改善钣金件的生产质量,同时可用来调整材料选择,降低成本。

板料成形过程的物理描述是:在模具各部件(通常是凸模、凹模和压料板)的共同作用下,板料发生大变形,板料成形的变形能来自强迫模具部件运动的外功,而能量的传递完全靠模具与板料的接触和摩擦。由此可见,对于成形过程的模拟软件的接触算法的理论和精度往往决定程序的可靠性,除此之外,由于板料的位移和变形很大,用来模拟板料的单元类型应满足这一要求。进行一定的假设:模具为刚体,模具的运动可直接作为冲压系统的位移边界条件。将冲压过程的物理模型转化为力学模型,即动量方程、边界条件、初始条件。可描述为:在给定的模具位移条件下,求得板料的位移函数,并在任意时刻同时满足动量方程、边界条件和初始条件。这已经是一般性的力学问题,可采用有限元的方法进行求解。

由于车身覆盖件的精度要求高、生产批量大,汽车制造业均采用冲压成形技术进行生产。冲压成形的材料利用率高,产品质量稳定,易于实现自动化生产。覆盖件尺寸较大,形状复杂,多为空间自由曲面,其成形过程涉及几何非线性、材料非线性和复杂的接触与摩擦等问题,在传统的冲压生产过程中,无论是覆盖件模具的设计、制造,还是坯料形状和尺寸的确定,冲压工序、工艺参数的规划,都要设计制造原型,经过多次试生产和多次

调试修正才能确定，这是一个试错逼近的过程，需要人力、物力和财力的大量消耗，生产成本高，周期长。

板料成形过程的有限元模拟技术是解决这一难题的有效手段，已经成为国际塑性加工领域的一个研究热点。板料成形模拟技术的发展可以追溯到 20 世纪 60 年代，它是伴随着非线性连续介质力学理论、有限元理论和计算机技术的发展而逐步发展起来的。由于板料成形数值模拟技术涉及到连续介质力学中材料非线性、几何非线性、状态非线性等强非线性的计算，难度很大。在材料的本构关系中，用于板料成形分析的非线性有限元法主要采用弹塑性有限元。Marcal、King 和 Yamada 等开创了弹塑性有限元法，并由 Hibbit 等人采用 Lagrange 描述，Osias、McMeeking 等人采用 Euler 描述分别建立了大变形弹塑性有限元列式。

适用于大变形问题的非线性有限元法提出后，在板料成形模拟中得到了广泛的应用，解决了大批以前用经典方法无法解决的问题。在早期板料成形模拟尚处于探索阶段时，研究工作就已逐渐展开，例如 Wang 和 Budiansky 采用流动坐标中的有限变形理论推导出针对一般板料成形问题的薄膜壳有限元模型，模拟了许多材料的半球头胀形成形过程，其计算结果与实验吻合得较好，标志着这一领域应用研究的开始。为了研究厚度、边界条件和材料模型对应变分布的影响，Nakamachi 等还应用 Kirchhoff 薄壳模型分析了各种不同厚度圆形板的自由胀形和凸模拉胀。而 Iskai 等不仅分析了非轴对称问题，而且还用有限元方法来确定非对称拉深件的合理毛坯形状和尺寸，赋予了有限元法应用于板料成形分析的全新内容。

经过一定时期的发展，板料成形模拟在世界各地蓬勃发展，研究进入了快速发展阶段。三年一届的工业成形中的数值方法（NUMIFORM）和板料成形数值模拟（NUMISHEET）国际会议集中反映了这方面的研究工作的进展情况。这些国际会议交流展示了板料成形分析发展的各个方面，内容涉及新材料模型研究、成形模拟、缺陷及失稳分析、本构方程建立、程序前后置处理、FEM 程序开发及与 CAD 系统连接等。在本构关系方面，Chou 等提出了增量形式的应力合成本构理论。该理论由于考虑了大塑性变形而导致厚向简化，因此可以很好地模拟板料成形，其所需计算时间大大少于厚向积分法。在壳体理论方面，Lee 提出了适于板料成形分析的比较完善的薄壳大变形理论及其增量形式的变分原理。该理论包含了有限延伸、转动、弯曲和厚度变化，引用了 Hill 提出的板壳法向各向异性流动的拉格朗日公式，失效判据也可以方便地应用到这个理论中来。在计算方法上，动力显式算法逐渐成为主流。该算法无收敛问题，单次求解迅速，并无须建立总体刚度矩阵，从而大大节省存储空间，可在较小的存储空间中计算大规模的动态非线性问题，被一致认为是求解接触碰撞这一类强非线性问题的有效方法。

从 20 世纪 70 年代后期开始，经过二十多年的发展，板料成形数值模拟技术逐渐走向成熟，已形成商品化的板料成形分析 CAE 软件，得到许多工业部门的重视和应用，美国的通用、福特，德国的大众、奔驰，日本的丰田、日产等大型汽车制造公司，都已开始应用板料成形分析 CAE 软件指导板料成形件的开发和生产，产生了很好的经济效益。随着我国汽车、飞机等工业的发展，板料成形过程分析的需求日益迫切，板料成形 CAE 软件在我国的应用将越来越广泛。目前应用较为广泛的板料成形分析 CAE 软件如下。

● ANSYS

ANSYS 是目前较为通用的 CAE 分析软件。它是由美国最大的有限元分析软件公司之一 ANSYS 公司开发,能与多数 CAD 软件接口,实现数据的共享和交换,如 Pro/Engineer、NASTRAN、Alogor、I-DEAS 和 AutoCAD 等。ANSYS 软件是一个融结构、流体、电场、磁场、声场分析于一体的大型通用有限元分析软件。该软件有多种不同版本,可以运行在从个人机到大型机的多种计算机设备上,如 PC, SGI, HP, SUN, DEC, IBM, CRAY 等,在现代产品设计中广泛使用。

软件主要包括前、后处理模块和分析计算模块 3 部分。前处理模块提供实体建模及网格划分工具,以便用户构造有限元模型;分析计算模块包括结构分析、流体动力学分析、电磁场分析、声场分析、压电分析以及多物理场的耦合分析,可模拟多种物理介质的相互作用,具有灵敏度分析及优化分析能力;后处理模块可将计算结果以彩色等值线等图形方式显示出来,也可将计算结果以图表、曲线形式显示或输出。

● AutoForm

板料成形分析软件 AutoForm 原来是由瑞士联邦工学院开发的,后来成立了 Autoform Engineering 公司。它是一款采用静态隐式算法求解及全拉格朗日理论的弹塑性有限元分析软件,包括了一步法模块(OneStep)、增量法模块(Incremental)、模具设计模块(DieDesigner)、液压成形模块(HydroForm)、优化设计模块(Optimizer)以及修边模块(Trim)等。Autoform 中的模具设计模块可以自动生成或交互修改压料面、工艺补充部分、拉延筋、坯料形状等;可选择冲压方向,定义侧向局部成形模具,产生工艺切口,定义重力作用、压边、成形、修边、翻边、回弹等工序或工艺过程;其增量法求解模块可精确地模拟冲压成形过程。一步法模块可快速地得到近似的冲压成形模拟结果,并预测毛坯形状。Autoform 中的优化设计模块以成形极限为目标函数队列 1~20 个设计变量进行优化,自动进行迭代计算直到收敛。

● PAM-STAMP 2G

欧共体五国自 1986 年开始制定了一项名为 BRITE-EURM-3489 的研究计划,每年资助 50 万美元来开发板料冲压成形过程的 CAE 软件。于 1992 年正式推出 PAM-STAMP 商品化软件。PAM-STAMP 2G 的主要功能模块包括对模面与工艺补充面进行设计和优化的 PAM-DIEMAKER,为研究工件而进行快速评估的工具 PAM-QUIKSTAMP 以及验证成形工艺和冲压件质量的 PAM-AUTOSTAMP。PAM-STAMP 2G 的所有模块都集成在统一的操作环境中,模块间可以交互操作,并以完全一致的方式共享 CAD 资料。

PAM-STAMP 2G 新的系统框架可以在各模块之间进行无缝的数据交换,并且提供了可以客户化的应用程序编程界面。该方案在用户管理和客户化上采用两级的应用软件管理模式,通过冲压模具元件(Stamp Tool Kit)模块,用户可以根据不同类型的使用需要,很容易地配置自己的解决方案。PAM-DIEMAKER 通过参数迭代的方法获得实际的仿真模型,能在几分钟内生成模面和工艺补充面,并能快速地分析判断零件有无过切(负角)和计算出最佳的冲压方向。PAM-QUIKSTAMP 所提供的是一个快速成形分析,在精度、计算时间、计算结果三者之间折衷出最优的方案,能让模具设计师快速地检查和评估其模具设计,包括模面和工艺补充部分以及其他模具设计的合理性。PAM-AUTOSTAMP 为用户提供在实际工艺条件下,如考虑重力影响、压料过程、多步成形、各种拉深、切边、翻边和回弹等复

杂情况下可视化的冲压成形模拟。

● KMAS

KMAS 是由我国吉林大学汽车覆盖件成形技术研究所与吉林金网格模具工程研究中心完成的国家“九五”重点科技攻关项目，在于解决我国汽车工业车身的自主开发与模具制造的“瓶颈”问题，现在已经拓展到航空、通信等其他与冷冲压有关的行业。KMAS 系统能够在制造模具之前，在计算机上模拟出冲压件在模具中成形的真实过程，告知用户模具结构设计、工艺条件状况是否合理，并最终为用户提供出最佳的模具设计工艺方案。对于复杂模具可缩短模具设计与制造周期，并提高模具的质量和 product 合格率，进而大幅度降低制造成本，增强产品的市场竞争力。它的主要功能有：模拟板料冲压的全过程——实现复杂冲压件从坯料夹持、压料面约束、拉延筋设置、冲压加载、卸载回弹及切边回弹的全过程模拟。

● DYNIFORM

DYNIFORM 是美国 (Engineering Technology Associates Inc.) ETA 公司和 LSTC 公司联合开发的用于板料成形过程模拟仿真的专用软件。它集成了 DYNIFORM 本身功能强大的前处理功能和 eta-Post 后处理软件以及 LSTC 公司开发的有限元动力显式求解器 960 和 970。DYNIFORM 主要包括以下特点。

DYNIFORM 前处理 DYNIFORM 具有功能丰富的前处理功能。首先，它具有强大的图形文件导入功能，能够方便而无数据丢失地读入 IGES 格式文件以及 UG、Pro-E、Catia 等主流 CAD 软件的图形文件，同时用户也可以在 DYNIFORM 中很方便地创建点、线、面等几何模型。做到从导入几何模型开始到计算结果的获得，无须用户再借助其他工具就可以方便地完成。其次，DYNIFORM 具有强大的网格自动剖分功能。它不但可以得到高精度的工具网格，也可以产生出用户所需的四边形网格和三角形网格。用户只需要输入简单的控制参数就可以快捷地获得复杂几何曲面网格，并且得到的网格质量非常高，使用户无须花费更多的时间对网格进行再修复，节省了大量的时间。再次，DYNIFORM 中的最具有特色的 DFE (Die-Face Engineering) 模块，方便模具设计人员对模具进行设计。用户只需要导入产品曲面，DFE 模块可以完成网格剖分、网格边界自动光顺、对称的定义、法兰的展开、冲压方向的调整、内部孔洞的自动补充、各种复杂压料面的产生、压料面的裁减、各种工艺补充面的设计、拉延筋的设计和网格划分、载荷曲线的定义、模具的定位等一系列功能。方便用户在得到分析结果后对产品零件进行反复修改的操作过程。最后，DYNIFORM 中的 BSE (Blank Size Engineering) 模块，可以帮助用户快速地设计出坯料的形状，并且根据用户的要求提供各种实际应用中常用到的排样结果报告，做到充分利用材料，提高材料利用率，节省成本。同时，最新增加的 MSTEP 模块，采用国际上最先进的有限元逆算法，作为 DYNIFORM 的快速求解器，可以在产品设计的初级阶段为用户提供初步的可行性分析。这样就弥补了 LS-DYNA 计算时间长的不足。

DYNIFORM 求解器 DYNIFORM 的求解器采用了业界非常著名的非线性动力显式有限元软件 LS-DYNA。LS-DYNA 是采用显隐结合的算法进行板料成形模拟的最具有代表性的软件。它采用动力显式求解器模拟冲压成形过程，计算稳定，效率高；同时 LS-DYNA 近几年来加强了隐式算法的开发，并且实现了显、隐式无缝集成的功能，在完成冲压分析

后,自动切换到隐式求解器进行回弹分析。在回弹分析过程中,可以采用大的时间步长,提高回弹的计算效率。LS-DYNA 包括丰富的材料模型和单元模型,用户可以根据实际冲压的材料选择合适的材料模型和单元类型。此外,LS-DYNA 的接触分析功能强大,现在具有40多种接触类型可以求解下列接触:变形体对变形体的接触、变形体对刚体的接触、刚体对刚体的接触、板壳结构的单面接触、与刚性墙接触、表面与表面的接触等。因此,借助LS-DYNA 强大的求解能力,DYNAFORM 可以解决冲压成形分析中的任何难题,如复杂多步成形分析、显式加载隐式卸载等。LS-DYNA 是目前业界公认的板料成形模拟结果准确性最好的软件之一。

DYNAFORM 后处理 eta-POST 是 ETA 公司开发的一款专门针对 DYNAFORM 的后处理软件。它可以方便用户直观地得到求解结果。用户可以用云图显示板料变形后的应力、应变信息,材料的厚度分布信息等。用户可以通过定义任意截面,得到截面上的各种结果信息。在 eta-POST 中新增加的 GRAPH 模块,使用户可以利用曲线图表功能来显示拉深过程中各种参数随时间变化的曲线,如界面力的变化、拉延筋阻力的变化、拉深力曲线等。

作为一款专用的板料成形软件,DYNAFORM 可以预测成形过程中板料的裂纹、起皱、减薄、划痕、回弹,评估板料的成形性能,从而为板料成形工艺及模具设计提供帮助,帮助模具设计人员显著减少模具开发设计时间及试模周期。DYNAFORM 可以运行于各种操作系统上,如 UNIX, Linux 和各种版本的 PC 机。

目前,DYNAFORM 已在世界各大汽车、航空、钢铁公司,以及众多的大学和科研单位得到广泛的应用,DYNAFORM 在我国长安汽车、南京汽车、上海宝钢、中国一汽、上海大众汽车公司、洛阳一拖等知名企业也已得到成功应用。

1.2 板料成形缺陷分析

板料成形是一个具有几何非线性、材料非线性、边界条件非线性等多重非线性的非常复杂的力学过程。由于影响成形过程的因素很多,因此人们不能精确控制材料的流动。成形过程中会产生各种各样的缺陷,影响零件的几何精度、表面质量和力学性能。总的来说,覆盖件成型的主要缺陷有起皱、破裂和回弹。

在预防成形缺陷的研究中,通常采用实验和理论研究相结合的方法。但是对于复杂的板料成形过程,特别是汽车覆盖件冲压成形过程而言,以上方法存在明显的局限性。近年来计算机和有限元数值模拟技术的不断发展完善,为分析板料成形过程的成形缺陷问题提供了一种崭新有效的方法。

1.2.1 起皱

起皱是压缩失稳在薄板成形中的主要表现形式。薄板冲压成形时,为使金属产生塑性变形,模具对板料施加外力,在板内产生复杂的应力状态。由于板厚尺寸与其他两个方向尺寸相比很小,因此厚度方向是不稳定的。当材料的内压应力使板厚方向达到失稳极限时,材料不能维持稳定变形而产生失稳,此种失稳形式称为压缩失稳。

起皱发生时, 皱纹的走向与压应力垂直, 但不能简单认为任何起皱都是压应力引起的。在板料冲压成形时产生的起皱是各种各样的, 大致可以分为压缩力、剪切力、不均匀拉深力以及板平面内弯曲力等四类, 其板料起皱类型如图 1.1 所示。

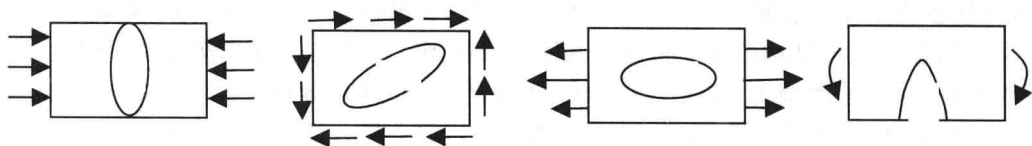


图 1.1 板料起皱类型

毛坯成形中一旦产生皱纹, 并残留在制件上, 不仅使制件的尺寸精度、表面质量等降低, 而且也给加工带来很多问题。因此在板料冲压成形过程中, 如何防止和消除起皱, 对获得高质量的产品至关重要。解决起皱的问题可以从产品形状、工序设计、模具设计与制造、冲压技术及材料等方面着手。产品形状方面, 在不损坏产品的性能和外观的前提下, 通过改变产品形状, 达到解决起皱的目的。大致可以从以下几个方面考虑: 减小制件的拉深深度; 避免制件形状的急剧变化; 减少平坦的部位; 增设吸收皱纹的形状; 台阶部分的合理化。工序设计及模具设计与制造方面, 可采取的措施有工序的改变、合理的压料面形状及合适的拉延筋位置等。具体方法有: 选择最佳毛料形状和尺寸; 合理安排工序; 适当增加工序数目; 确定合适的压料面形式及拉深方向; 有效地利用阶梯拉深; 凹模横断面形状、凹模圆角半径 R 、凸模纵断面形状的合理化; 设置合适的工艺涂料; 对起皱部位进行预压; 在行程终点充分加压; 减小压边圈预凹模的间隙; 合理地选取拉延筋位置、形状; 提高模具刚性和耐磨性; 进行预弯曲。在冲压条件方面有以下措施: 提高压边力; 均衡压边力; 控制润滑; 压力机及模具的平行度要好; 选择合适的冲压速度。材料方面使用低屈服点的材料; 使用伸长率大的材料。

1.2.2 破裂

破裂是拉深失稳在薄板冲压成形中的主要表现。在板料成形过程中, 随着变形的发展, 材料的承载面积不断缩短, 其应变强化效应也不断增加。当应变强化效应的增加能够补偿承载面积缩减时, 变形稳定地进行下去; 当两者恰好相等时, 变形处于临界状态; 当应变强化效应的增加不能补偿承载面积缩减, 并越过了临界状态时, 板料的变形将首先发生在承载能力弱的位置, 继而发展成为细颈, 最终导致板料出现破裂现象。

大型冲压件实际成形过程中的破裂现象, 往往由于冲压体形状复杂而呈现多样性。其分类方法一般有两种: 一种是按破裂的性质分类, 另一种是按破裂的部位分类。

按破裂发生的部位, 破裂可分为 5 类: 凸模端部破裂, 此类破裂常出现在胀形成形、拉深-胀形复合成形和拉深成形等过程中, 破裂的部位一般是双向拉应力状态。侧壁破裂, 包括壁裂、伸长类翻边的侧壁破裂和双向拉应力下的侧壁破裂 3 种。凹模圆角部位的破裂, 主要包括弯曲破裂和拉弯破裂两种。法兰部分的破裂, 该种破裂多发生在伸长类翻边的成形工序中, 包括外缘破裂和内缘破裂两种。其他破裂, 主要有拉延筋作用引起的破裂和由起皱而引起的破裂等。