

板料成形中的 计算机辅助技术

熊火轮 胡世光 编著



北京航空航天大学出版社

PDG

1102611

板料成形中的 计算机辅助技术

熊火轮 胡世光 编著

76335.5/5

北京航空航天大学出版社

(京)新登字 166 号

内 容 简 介

本书介绍板料冲压成形方面所应用的计算机辅助技术。主要内容包括板壳件的几何描述、板料成形的有限元分析、板壳件工艺过程设计等环节的计算机应用及成形或试验设备的微机控制技术。

本书可作为航空高等院校航空宇航制造专业、压力加工专业的教材,也可供其他院校相关专业的学生及工程技术人员参考。

- 书 名: 板料成形中的计算机辅助技术
- 编 著 者: 熊火轮 胡世光
- 责任编辑: 曾昭奇
- 出 版 者: 北京航空航天大学出版社(100083)
- 印 刷 者: 朝阳区科普印刷厂
- 发 行: 新华书店总店科技发行所
- 经 售: 全国各地新华书店
- 开 本: 850×1168 1/32
- 印 张: 9.25
- 字 数: 250 千字
- 印 数: 2000
- 版 次: 1994 年 7 月第一版
- 印 次: 1994 年 7 月第一次印刷
- 书 号: ISBN 7-81012-478-1/TH·018
- 定 价: 6.6 元

604/12/24

前 言

13

计算机作为一种高效能的新工具,在现代科学研究和工业生产等领域的应用越来越广泛和深入,与计算机相适应的计算技术(如计算数学、计算力学)和数据处理、图形处理等各种计算机辅助技术的发展也越来越迅速。计算机和计算机辅助技术的应用和发展,不仅大大提高了工作效率和质量,而且使许多人工难以完成的工作成为现实和可能。因此,通过计算机和计算机辅助技术的应用和发展来实现各学科各行业的技术进步已成为一种强大的趋势。

板料冲压成形(工业界称之为钣金)是一个历史悠久的学科专业,虽然在理论研究和生产技术方面都取得了很大的进展,但由于客观条件和多种因素限制,仍有许多难题需要深入探讨,如成形过程中应力应变场的分析计算等。板料冲压成形至今仍被称为未被揭开的黑匣子(black box),因而更加希望通过计算机和计算机辅助技术的应用来加速自身的技术进步和发展。

编者曾以“钣金工艺中计算机辅助技术的应用与开发”为题开设过若干讲座,介绍本书中的某些内容。为适应教学发展的需要,于1990年将自己从事CAD/CAM技术十多年学习和研究的内容和本教研室及本专业老师们已开展的有关研究工作内容编成了讲义,为本科生开设《板料成形中的计算机辅助技术》的新课,经过三届教学实践,并不断调整、充实,增删过部分内容而形成本书。

本书内容共分为六章:第一章为绪论,讨论关于板料成形中计算机辅助技术的若干全局性问题;第二章讨论板壳件的几何描述,以参数样条为重点介绍计算几何学中描述曲线曲面的方法;第三章讨论有限元分析的基本概念和方法,对于较复杂的非线性分析只作了初

步介绍(深入的讨论将在研究生《板料成形数值分析基础》课程中进行);第四章讨论了板壳工艺过程设计的计算机辅助,并简要介绍了专家系统;第五章讨论了微机控制技术;最后,第六章对板料冲压成形领域内计算机和计算机辅助技术应用的其他内容作了一般性介绍。各章后面均附有若干习题。考虑到计算机辅助技术的实践与编程上机密切相关的特点,所附习题大多数属基本概念和方法的检查。计算题很少,故未给解答。

本书内容涉及面较宽,其中有些章节对于板料冲压成形或压力加工专业的学生来说还是未接触过的新内容,但由于篇幅(及学时)所限,难以详尽讨论。鉴此,本书以板料冲压成形为中心,采取各章相对独立的方式,介绍基本概念及应用实例。

本书经清华大学俞新陆教授审稿。俞教授对本书提出了不少宝贵意见;申铭和封峰两同志参加部分的编写;梅冰清老师为本书精心描图,谨此一并表示深切的谢意。

本课程正处在发展和逐步完善的过程中,又因编者水平和经验所限,书中挂一漏万及谬误之处在所难免,恳请给予批评指正。

编者

一九九三年九月

目 录

前 言

第一章 绪 论

§ 1.1 板料成形过程分析	2
§ 1.2 计算机辅助技术的发展及应用	6
§ 1.3 板料成形与计算机辅助技术	14

第二章 板壳件的几何描述

§ 2.1 样条函数与参数表示法	20
§ 2.2 参数三次样条曲线	23
§ 2.3 参数双三次曲面	33
§ 2.4 参数样条应用问题	40
§ 2.5 贝齐尔方法	44
§ 2.6 B 样条方法	55
§ 2.7 有理参数曲线法	65

第三章 板料成形的有限元分析

§ 3.1 概 述	69
§ 3.2 有限元基本方法	71
§ 3.3 平面问题	79
§ 3.4 轴对称问题和空间问题	96
§ 3.5 等参元和板壳元	112
§ 3.6 非线性问题初步	125

§ 3.7 有限元程序	133
-------------------	-----

第四章 计算机辅助板壳工艺过程设计

§ 4.1 概 述	143
§ 4.2 CAPP 的基本原理和方法	144
§ 4.3 SMCAPP 系统简介	151
§ 4.4 毛料展开计算	160
§ 4.5 专家系统概况	165
§ 4.6 专家系统的语言及实例	173
§ 4.7 板料成形的专家系统开发	179

第五章 微机控制技术

§ 5.1 概 述	185
§ 5.2 微机系统分类与构成	189
§ 5.3 离散与采样	193
§ 5.4 微机控制系统设计	197
§ 5.5 硬件接口及程序设计	203
§ 5.6 系统的调试	211
§ 5.7 微机控制系统实例	216

第六章 板料成形中的计算机应用

§ 6.1 模具 CAD/CAM	230
§ 6.2 数据库技术及其应用	244
§ 6.3 网格分析法及其“CA”技术	257
§ 6.4 板壳件的柔性制造技术	269

参考文献	287
------------	-----

第一章 绪 论

板料塑性成形是一个充满魅力的学科领域,它不仅具有悠久的历史发展历史供人们去追溯和回味,而且留下了许多有趣的研究课题作为后来探索者们的用武之地。

计算机和各种计算机辅助技术的迅速发展,为现代工业生产和科学研究提供了高效能的新工具。计算机辅助技术在近 20 年时间内几乎应用到各行各业,并以其大量的技术成果和显著的经济效益及社会效益显示出强大的生命力。

板料塑性成形,与其他学科专业一样,计算机和计算机辅助技术的应用也越来越广泛和深入。一方面,用计算机取代某些原来由人工完成的工作,成倍甚至十几倍、几十倍地提高效率,并提高水平和质量;另一方面,一些人工无法完成的工作,由于有了计算机这种高效能的新工具和相应的新技术而成为可能。人们有充分的理由相信,计算机辅助技术将为板料塑性成形领域各种课题的进一步深入研究开辟更加广阔的前景。

本书介绍与板料塑性成形有关的计算机辅助技术。将曲面造型、有限元分析、微机(计算机)控制、数据与图形处理、专家系统及柔性制造等基础技术和基本方法与板壳零件的成形及生产过程相联系,讨论板壳类零件的几何描述,成形过程中的应力应变计算与过程模拟、工艺过程设计、成形机床或试验设备的微机控制、模具的设计与制造等板壳件制造的各环节中已经使用和正在试验研究中的计算机辅助技术。

§ 1.1 板料成形过程分析

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,板料塑性成形都是不可缺少的主要加工方法。

在飞机制造工业,据国产飞机的调查和统计,有色金属板壳零件的项数占全机零件总项数的 40%左右,制造工时占全机总工时的 12%。一般歼击机板壳零件的数量在 1 万件以上,轰炸机在 4 万件以上,而大型运输机则超过 6 万件。由此可见,板壳零件的质量和成本对飞机的整体质量和成本是举足轻重的影响因素之一。宇航、汽车等机械制造行业的情况与此大同小异。

板料成形又是一种技术密集型的综合性工艺方法。板壳件成形过程中所涉及的因素很多,尽管人们从未放弃过对它的研究与探索,并不断取得技术上的进步和发展,但至今仍有不少因素尚未被人们认识清楚,因而难以定量地把握或有效地控制。这种状况对于提高板壳件的成形质量、缩短生产周期、提高制造精度和降低生产成本都是极大的障碍。为此,我们将板料成形及整个制造过程视为一个多变量系统,对其主要的影响因素(或主要变量)作一初步分析。如图 1-1 所示,这些因素可归纳为以下几个方面。

1. 材料性能

板壳零件的种类繁多,形状各异,其成形方式也是多种多样的。金属板材性能的优劣,特别是板材在各种变形方式下的适应能力,是板壳件质量的基础。这类性能很难用一两个指标参数表示出来,除了

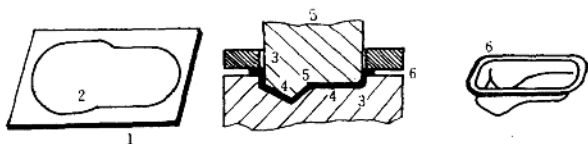


图 1-1 影响板壳件成形的各种因素

常用弹性模量 E 、屈服强度 σ_s 、抗拉强度 σ_b 等机械性能参数外,新近发展的板料成形性模拟试验采用弯曲、拉伸、胀形、压延等一系列参数(详见图 6-13)对板料的成形性进行更精确、更有针对性的描述,并建立了相应的标准(如航空部、冶金部部颁标准),但这些从模拟实验测得的参数如何结合具体零件的成形特点和成形条件有效地应用仍需进一步研究。

2. 毛料的展开计算

板壳零件都是由平板毛料成形而得到的,采用恰到好处的毛料不仅能节省原材料,减少成形后的修边工作量,而且是改善成形条件和提高成形质量的有效手段。人们对确定板壳成形件的毛料形状做过大量的探索,提出过许多种预测和估算方法,在某些方面(如平底压延件的展开)取得了良好的进展。但由于毛料外形的确定涉及到材料的流动规律等复杂因素,特别是几何形状复杂的(非轴对称旋转体或非平底压延等)板壳零件,要完全精确地测算其毛料形状是极其困难的。迄今为止,还没有一种精确的、通用的计算方法,实际生产中仍然是先估算出一个初始参考形状,而在试模阶段根据实际情况不断地修正而确定最终的毛料形状。这样确定的毛料在实践中是可行的,但从理论上说,它并不是最佳的。

3. 模具设计与制造

传统的模具设计和制造方法存在着不少困难,特别是形状复杂

而精度要求较高的板壳件成形模具,由于形状依据的传递环节多而积累误差大,制造周期长、手工劳动量大。试模时的一次成功率不高,往往需要返修,有时甚至是多次返修,不仅费时费力,而且成本升高。近年来,采用计算机辅助设计和计算机辅助制造(CAD/CAM)能够有效地克服这些困难,但就目前情况而言,模具 CAD/CAM 仍然未超出几何形状问题。实际上,要制造高质量的板金零件必须考虑到成形过程的力学条件,综合问题的几何、力学和工艺诸种因素进行模具的设计与制造。这是正在努力实现的目标之一。

4. 摩擦与润滑

板料与模具之间的摩擦与润滑是板料成形中不容忽视的重要因素之一,在某些情况下可成为成形成败及零件质量优劣的关键性因素。然而对摩擦与润滑问题人们至今知道的还很不够。成形过程中有利的或不利的摩擦用何种模式来描述,润滑部位、范围及润滑剂的选取,都还难以结合具体的成形方式有效地把握。

5. 应力应变分析

成形过程中板料所处的应力应变状态分析,是板料成形中最关键的因素之一。力学分析的经典方法是建立偏微分方程组,在一定的边界条件下求定解。这种方法能够描述成形过程中诸因素的作用及相互关系,有利于加深对分析对象的理解和规律的把握,也已经取得了很大的成效。但由于板壳件的成形过程是一个大的塑性变形过程,在力学上,它涉及非线性的应力应变关系,在几何上,它涉及到大应变问题,而且边界条件比较复杂,因而不得不作出某些简化才能用恰当的数学方法来求解。这样就使得理论分析难以得出整个变形过程的全解,求解结果的精度也难令人满意。

计算机和计算力学的迅速发展,使人们有可能采用数值分析的方法来求解。这样不必推导描述各因素作用及其关系的解析式,而是

采用一组离散的数值。它可以按照更加符合实际的模式,以更多的变量,借助于计算机对复杂问题快速计算而求解。输出的结果虽然是离散的数值,但可以在计算机的图象显示设备上形象而直观地显示出来。数值分析中主要是有限单元法,设想板料被分割成许多形状简单的元素,在整体边界条件下求得各单元的应力和应变值,从而得知整个板料或零件上的应力应变分布状况。

从理论上说,用数值分析求解板料塑性成形问题并没有大的困难,但实际处理中仍然有不少具体问题需要进一步探讨与研究。其中之一就是,由于大变形使模具与板料的接触状态发生明显的变化,而引起边界条件、载荷分布和约束情况的变化,如果按最初的计算模型去求解,其计算结果将完全失真。

6. 其它因素

上述五个因素以外,仍有不少因素直接或间接、程度不同地影响着板料成形的质量,诸如产品设计的合理性、工艺性,成形机床的精度、速度,生产环境的温度、湿度等等。

* * *

板料塑性成形作为一个复杂的多变量系统,就目前的理论研究和技术水平而言,还不能作出定量的分析,对上述各种因素的作用及其相互关系也难以归结为几条行之有效的规则。所以说,板料塑性成形是一个迫切需要深入研究的领域。世界各国都在利用各种先进技术,特别是计算机辅助技术,力求提高板料成形件的质量,减轻劳动强度和降低制造成本。

§ 1.2 计算机辅助技术的发展及应用

电子计算机是 20 世纪最杰出的科学技术成就之一。自 1946 年第一台电子计算机诞生以来,40 多年中已经发展了四代。现在,第五

代(智能型)计算机也在孕育中日趋成熟。一项科技成果,如此迅速地向高级和完善化发展,在人类科学技术史上是前所未有的。

早在电子计算机问世之前,自然科学中就有许多问题因为计算过于复杂而成为“纯科学”的公式,不能直接用到科研和工程项目中去。电子计算机的出现对于这种情况,犹如“雪中送炭”,满足了社会发展的一种渴求,因而电子计算机的应用也就以空前的速度向纵深发展。据1984年的统计,美国电子计算机的数量已达到600万台,日本有200万台,西欧超过260万台。在发达的工业国中,计算机已在4000多个行业得到广泛的应用,其用途已超过5000多种。

计算机的极为广泛的应用使人们很难用一两个名词将其丰富的内容囊括其中。在英语中已经出现了大量的专用缩写词语来表示计算机的各种应用。其中人们熟悉的最常用的有:

- ①CAD/CAM 计算机辅助设计与制造
- ②CAE 计算机辅助工程
- ③CAGD 计算机辅助几何设计
- ④CAM 计算机辅助制造
计算机辅助管理
- ⑤CAT 计算机辅助测试
计算机辅助教学
- ⑥CAPP 计算机辅助工艺过程设计
- ⑦CIM 计算机集成制造

本书为了叙述方便,在以后的章节中将采用“CA”技术作为术语,意为计算机辅助(Computer Aided)或计算机应用(Computer Application)技术。

以下分别讨论“CA”技术的几种主要形式。

1. 科学计算

电子计算机高速运算和巨大的信息存贮能力,使当代科学技术

上的一些重大课题取得突破性进展。例如,生物遗传工程中核糖核酸和一些人工合成蛋白质,包括我国的合成胰岛素,都是首先经过计算机的大量计算,确定了它们的晶体结构后完成的。导弹设想的提出实际上先于计算机的问世,但也只能在使用了计算机之后才真正成为现实。

计算机进行科学计算所解决的是一些数学上极为复杂的问题,数据量大,精度要求高,有的还要求实时性。这些工作不仅人工不可能完成,而且它们对计算机性能的要求也是各种应用中最高的。目前的科学研究中,存在着大量的求取数值解的复杂算题。例如,人造卫星的轨迹计算、宇宙飞船的制导、星体演化形态研究、天文年历的编制、分子及原子结构分析、可控热核反应研究、水利设施设计及土方计算、水文计算、气象预报等等。

水利建设中拱坝应力分析是一个典型的例子。采用有限元分析法将拱坝分成若干个单元体,各相邻的单元体在其相互连接的节点上有共同的变形。每个结点可考虑若干个自由度,把拱坝受的全部载荷转换成作用在相应节点上的力。根据基本力学关系,建立以节点位移为未知数的联立方程组。求解这个方程组可得到全部节点位移值,再根据位移求出各单元相应位置上的应力和应变。图 1-2 为某地拱坝的单元划分图。

本书后面将要讨论的板料成形中的应力应变分析,就是用有限元法计算成形过程中板料上各点的应力应变。它是大应变分析,比上述拱坝的计算要复杂得多,但也是计算机用于科学计算的典型实例之一。

2. CAD/CAM

60 年代,人们就开始将计算机用于工程设计,建成了根据不同产品要求,由适当的计算机软件和硬件组成的整体设计系统。计算机

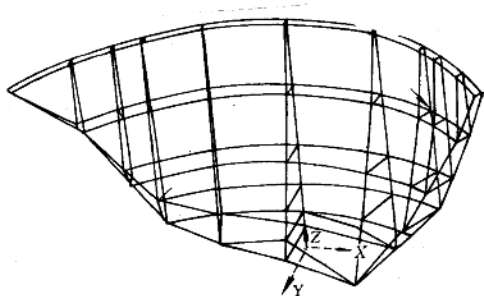


图 1-2 拱坝分析中的单元划分图

也应用于相应的产品制造活动,特别是控制加工与计算机结合而形成计算机数控和更广泛的计算机辅助工程的新概念。目前,CAD/CAM 技术已在航空、电子、机械、船舶、化工、建筑等部门得到了广泛的应用。

航空工业是最早发展 CAD/CAM 技术的行业之一,传统的飞机设计从制定方案到完成全套图纸,要费大量的人力物力,花费 2~3 年的时间,采用计算机辅助只需要 3 个月时间。在船舶设计中,计算机辅助设计使设计人员的工效提高了 20 倍以上。从航空工业采用 CAD/CAM 技术的经验看,CAD/CAM 技术的显著效益不仅在于加快设计进度和提高设计质量,而且从根本上改变了传统生产中“模线——样板——标准样件”的协调体系和“串行作业”的工作方式,提高了零部件的制造精度和互换协调性,也提高了生产效率和机械化程度。使整个飞机研制周期缩短,成本降低。据报道,国外的大飞机和大汽车公司在 80 年代初装备了 IBM370/168、IBM3033 或 CDC/CYBER 级的大型计算机,内存总容量已达到 40 兆字节,磁盘总容量为 2000~20000 兆字节,可存贮图纸 100 万张以上,大型精密数控机床近百台,包括数控绘图、数控测量及数控加工机床,并装备了各种工业机器人。汽车制造业属于大批量的自动化生产,数控设备主要

用来加工工艺装备和试制样车,所需量比飞机公司要少得多,但其工业机器人则远远超过飞机公司。

由于CAD/CAM技术的经济效益显著,世界各工业国都在大量投资,扩大CAD/CAM在飞机设计和制造中应用的深度和广度。当时美国有两项重要的计划:(1)NASA的IPAD计划,起始于1975年,投资1000万美元,目标是航空和航天飞机的设计和分析全盘计算机化,将设计和分析各环节联成整体,并进一步衔接制造系统。(2)美国空军的ICAM计划则始于1977年,投资1亿美元,目标是建立一个包括生产计划、生产过程控制、加工工艺、质量保证等的集成化制造系统,并解决有关软件的兼容性和标准化问题。这些计划的实施,直接影响着整个航空工业和宇航工业的生产技术发展,也将对其它工业界的技术进步产生直接或间接的推动作用。

3. 数据处理

数据处理主要是将输入设备传来的数据及时地加以记录、整理、计算,加工成符合某种特定需要的新的信息,并作为结果输出。数据问题的特点是要对大量的数据进行操作,这些数据在计算机内所占空间远大于操作数据程序所占的空间。因此,必须在解决各种数据处理的基本问题之外,同时解决大量数据的存放、组织、分类、查找、维护等问题。现代社会正在进入信息社会,各种信息浩如烟海,需要对大量信息进行分析加工的数据处理问题正与日俱增,而人工操作越来越显得技穷力拙。例如,我国人口普查中,要对120个大中城市中人口的年龄、性别、职业等十多个项目共几百亿个数据进行处理,靠人力是无法完成的,而用计算机只需要3小时,即可得到全部结果。

图象处理是数据处理中的一个典型应用。地球卫星送回地面的图象、X射线诊断照片、金相组织照片、地质标本照片、基本粒子轨迹照片、天文照片等,常常是在极不理想的条件下摄取的,需要经过大量的处理操作才能获得清晰的图象和有用的信息。常用的图象处理

有图象增强、图象复原、抽取轮廓和图象细化等。图象增强是用增强对比度和边沿的方法使模糊的图象变得清晰；图象复原是对曝光时移动或其它退化原因已明的模糊图象恢复到清晰的本来面貌；抽取轮廓和图象细化都是为了抽取并保留需要的信息，压缩信息量。据称，用每秒钟计算 10^8 次的电子计算机处理一张遥感照片，粗略的处理约需 100 秒，精细的处理则需要 3 天以上，可见其数据操作的工作量之大。

4. 过程控制

现代工业的发展对实现生产过程自动化控制系统的要求日益提高，到了 70 年代，以大规模集成电路为基础的微处理机或微型计算机问世，适用于大型工业过程控制的“多级分布式微机控制系统”才逐渐发展起来，将计算机在生产过程控制方面的应用提高到一个新的水平上。

“多级分布式过程控制系统”将整个生产过程按工序划归若干基本单元来控制，如图 1-3(a) 所示。每一套基本控制单元是一个以微处理机为核心的控制系统，如图 1-3(b) 所示。基本控制功能首先是把过程输入信号变换成统一规格的标准模拟电压，然后对此模拟电压采样并转化为离散信号，按微处理机要求的信息格式进行“模-数”转换，所获得的离散信号存入微机的内存。微机按预先输入的控制规则对离散信号执行处理运算，其结果则按相反的次序经过“数-模”转换，成为直流标准电流信号，返回生产过程的终端元件，如控制阀门等，实现对生产过程的有效控制。

对生产过程实现计算机控制可大大提高生产效率和产量。据国外报道，在一台年产 20 万吨标准钢带的热轧机上，常规的改进将产量提高到每周 5 千吨已属不易，但采用计算机控制则可使产量提高到每周 5 万吨以上。在日本，二次大战后建成的年产 500 万吨的钢铁厂，需职工 1.5 万人，而采用计算机控制后，同样生产力的钢铁厂只