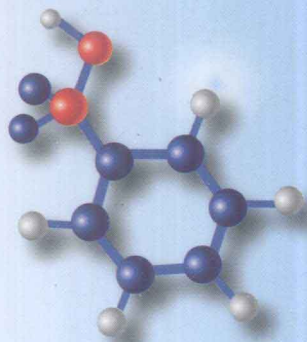




21世纪全国高等院校材料类 **创新型** 应用人才培养规划教材



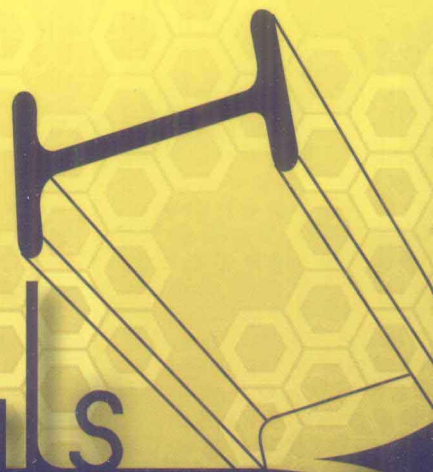
MATERIA

DEFORM-3D

塑性成形CAE应用教程

主 编 胡建军 李小平

Materials



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

21 世纪全国高等院校材料类创新型应用人才培养规划教材

DEFORM - 3D 塑性成形 CAE 应用教程

主 编 胡建军 李小平

副主编 周 涛 陈元芳



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

内 容 简 介

本书内容共分为3篇：第一篇为理论基础，介绍 DEFORM-3D 分析的基本流程、DEFORM-3D 软件分析中缺陷的判断以及如何提高模拟的精度等内容；第二篇为基本成形，介绍基本的塑性过程分析技巧，包括基本成形的步骤、对称模拟的设置、热传导的分析、成形和热传导的耦合、多工序模拟的设置、设备库的应用意义、停止条件的设置、模具应力分析等内容；第三篇为成形工艺分析实例，介绍各种特殊塑性成形工艺的分析实例，包括轧制分析、辊锻成形分析、楔横轧分析、摆辗成形分析、旋压成形分析、断裂分析、模具磨损分析、热处理及晶粒度分析。

本书可以作为高等院校材料相关专业的本专科生教材，也可以作为材料工程技术人员和模具设计、结构分析以及成形加工相关专业的工程技术人员的指导手册。

图书在版编目(CIP)数据

DEFORM-3D 塑性成形 CAE 应用教程/胡建军, 李小平主编. —北京: 北京大学出版社, 2011. 1
(21 世纪全国高等院校材料类创新型应用人才培养规划教材)

ISBN 978-7-301-18392-2

I. ①D… II. ①胡…②李… III. ①金属压力加工—塑性变形—计算机辅助分析—高等学校—教材 IV. ①TG301

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 001819 号

书 名: DEFORM-3D 塑性成形 CAE 应用教程

著作责任者: 胡建军 李小平 主编

策划编辑: 童君鑫

责任编辑: 宋亚玲

标准书号: ISBN 978-7-301-18392-2/TG·0015

出 版 者: 北京大学出版社

地 址: 北京市海淀区成府路 205 号 100871

网 址: <http://www.pup.cn> <http://www.pup6.com>

电 话: 邮购部 62752015 发行部 62750672 编辑部 62750667 出版部 62754962

电 子 邮 箱: pup_6@163.com

印 刷 者: 河北滦县鑫华书刊印刷厂

发 行 者: 北京大学出版社

经 销 者: 新华书店

787mm×1092mm 16 开本 19 印张 440 千字

2011 年 1 月第 1 版 2011 年 1 月第 1 次印刷

定 价: 34.00 元

未经许可, 不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有, 侵权必究

举报电话: 010-62752024

电子邮箱: fd@pup.pku.edu.cn

21 世纪全国高等院校材料类创新型应用人才培养规划教材

编审指导与建设委员会

成员名单（按拼音排序）

- | | |
|--------------|----------------|
| 白培康（中北大学） | 陈华辉（中国矿业大学） |
| 崔占全（燕山大学） | 杜彦良（石家庄铁道大学） |
| 杜振民（北京科技大学） | 耿桂宏（北方民族大学） |
| 关绍康（郑州大学） | 胡志强（大连工业大学） |
| 李楠（武汉科技大学） | 梁金生（河北工业大学） |
| 林志东（武汉工程大学） | 刘爱民（大连理工大学） |
| 刘开平（长安大学） | 芦笙（江苏科技大学） |
| 裴坚（北京大学） | 时海芳（辽宁工程技术大学） |
| 孙凤莲（哈尔滨理工大学） | 孙玉福（郑州大学） |
| 万发荣（北京科技大学） | 王春青（哈尔滨工业大学） |
| 王峰（北京化工大学） | 王金淑（北京工业大学） |
| 王昆林（清华大学） | 卫英慧（太原理工大学） |
| 伍玉娇（贵州大学） | 夏华（重庆理工大学） |
| 徐鸿（华北电力大学） | 余心宏（西北工业大学） |
| 张朝晖（北京理工大学） | 张海涛（安徽工程大学） |
| 张敏刚（太原科技大学） | 张锐（郑州航空工业管理学院） |
| 张晓燕（贵州大学） | 赵惠忠（武汉科技大学） |
| 赵莉萍（内蒙古科技大学） | 赵玉涛（江苏大学） |

前 言

DEFORM-3D 是一个基于工艺模拟系统的有限元系统(FEM),专门用于分析各种金属成形过程中的三维(3D)流动,提供极有价值的工艺分析数据及有关成形过程中的材料流动和温度流动。典型的 DEFORM-3D 应用包括锻造、挤压、轧制、自由锻、弯曲和其他成形加工手段。

DEFORM-3D 是模拟 3D 材料流动的理想工具。它不仅鲁棒性好,而且易于使用。DEFORM-3D 强大的模拟引擎,能够分析金属成形过程中多个关联对象耦合作用的大变形和热特性。此系统集成了在必要时能够自行触发自动网格重新划分的生成器,可以生成优化的网格系统。在精度要求较高的区域,可以划分细密的网格,从而降低题目的运算量,并显著提高计算效率。DEFORM-3D 图形界面,既强大又灵活,为用户准备输入数据和观察结果数据提供了有效工具。

本书内容共分为 3 篇:第一篇为理论基础,编者用语浅显易懂,舍去晦涩难懂的理论公式推导,提取和塑性成形仿真最紧密结合的部分,介绍 DEFORM-3D 分析的基本流程、DEFORM-3D 软件分析中缺陷的判断及如何提高模拟的精度等内容;第二篇为基本成形,通过本篇的学习,读者可以掌握基本的塑性过程分析技巧,包括基本成形的步骤、对称模拟的设置、热传导的分析、成形和热传导的耦合、多工序模拟的设置、设备库的应用意义、停止条件的设置、模具受力的分析等。编者对这些实例结合自己的应用经验进行点评,使读者在掌握这些案例的同时,理解 DEFORM-3D 塑性成形分析基本过程和关键技术;第三篇为成形工艺分析实例,主要介绍各种特殊塑性成形工艺的分析实例,包括轧制分析、辊锻成形分析、楔横轧分析、摆辗成形分析、旋压成形分析、断裂分析、模具磨损分析、晶粒度分析。编者在附录部分为读者整理了常见牌号材料的中英文对照表,方便读者在模拟时从中寻找自己应用的材料。本书内容由浅至深,循序渐进,能使读者从本书中有所收获。

本书由重庆理工大学胡建军和李小平主编,重庆理工大学周涛和陈元芳为副主编,参加编写的还包括重庆理工大学陈康、夏华和周志明,四川大学曹建国,重庆交通大学张渝,重庆大学王梦寒,重庆科技学院杨成林。其中胡建军编写第 3~8 章和第 10 章,李小平编写 1~2 章,周涛编写第 17 章,陈元芳编写第 9 章,陈康编写第 15 章,夏华编写第 11 章,周志明编写第 18 章,曹建国编写第 13 章,张渝编写第 12 章,王梦寒编写第 16 章,杨成林编写第 14 章。胡建军对本书进行了统稿,并对所有应用案例进行了验证。

由于编者水平有限,书中难免有疏漏之处,欢迎广大读者、同行批评斧正。

编 者
2010 年 10 月

目 录

第一篇 理论基础	1	4.2 建立模型基本步骤	35
第1章 塑性成形 CAE 技术	3	4.2.1 物体的设置	35
1.1 塑性成形 CAE 技术概述	4	4.2.2 模拟设置	36
1.1.1 国外 CAE 技术现状	4	4.3 建立模型	38
1.1.2 我国 CAE 技术现状	5	4.3.1 创建一个新的问题	38
1.2 金属塑性成形技术	5	4.3.2 设置模拟控制	41
1.3 DEFORM-3D 软件	6	4.3.3 设置坯料基本属性	41
1.3.1 DEFORM 的发展	6	4.3.4 导入毛坯几何文件	41
1.3.2 DEFORM 的特点	7	4.3.5 划分网格	43
1.3.3 DEFORM 的功能	8	4.3.6 导入上模文件	44
综合习题	8	4.3.7 设置上模运动参数	45
第2章 塑性成形过程数值模拟	9	4.3.8 导入下模文件	45
2.1 DEFORM-3D 软件的模块		4.3.9 设置模拟参数	47
结构	10	4.3.10 改动物体的空间位置	47
2.2 塑性成形模拟的特点	13	4.3.11 定义接触关系	47
2.3 有限元处理过程的几个问题	14	4.3.12 检查生成数据库文件	49
综合习题	17	4.4 模拟和后处理	50
第3章 塑性仿真缺陷预测	18	综合习题	56
3.1 组织性能的变化和成形缺陷		第5章 方形环锻粗分析	58
预测	19	5.1 分析问题	59
3.2 金属的断裂准则及断裂行为		5.2 建立模型	60
数值模拟	22	5.2.1 创建一个新的问题	60
3.3 DEFORM 软件的缺陷预测	25	5.2.2 设置坯料	61
3.4 提高塑性成形数值仿真的精度	26	5.2.3 坯料网格划分	61
综合习题	29	5.2.4 设置边界条件	61
第二篇 基本成形	31	5.2.5 上模设置	62
第4章 锻压模拟基本过程	33	5.2.6 设置模拟控制	63
4.1 问题分析	34	5.2.7 位置关系确定	64
		5.2.8 接触关系设置	64
		5.2.9 检查生成数据库文件	65
		5.3 模拟和后处理	65
		综合习题	70



第 6 章 道钉成形分析	71	7.2.3 导入几何体	102
6.1 分析问题	72	7.2.4 定义初始温度	102
6.2 热传导工序分析	73	7.2.5 分配材料	103
6.2.1 创建一个新的问题	73	7.2.6 定义工件网格	103
6.2.2 设置模拟控制	73	7.2.7 定义工件 Billet 的 边界条件	106
6.2.3 定义毛坯的温度及材料	75	7.2.8 设置上模的运动	106
6.2.4 几何体导入	75	7.2.9 设置模拟控制的步数	106
6.2.5 坯料网格划分	76	7.2.10 检查生成数据库文件	107
6.2.6 定义热边界条件	77	7.2.11 模拟和后处理	107
6.2.7 检查生成数据库文件	78	7.3 下模传热过程	108
6.2.8 模拟和后处理	79	7.3.1 打开前处理	108
6.3 坯料与下模热传导工序	79	7.3.2 设置模拟控制	108
6.3.1 打开前处理文件	79	7.3.3 定位坯料	109
6.3.2 定义上模	81	7.3.4 设置接触条件	110
6.3.3 定义下模	82	7.3.5 检查生成数据库文件	110
6.3.4 调整工件位置	82	7.3.6 模拟和后处理	110
6.3.5 定义接触关系	83	7.4 进行锻粗分析	111
6.3.6 设置模拟控制	84	7.4.1 打开前处理	111
6.3.7 检查生成数据库文件	84	7.4.2 设置模拟控制	111
6.3.8 模拟和后处理	85	7.4.3 设置坯料对称面	112
6.4 热锻成形工序	86	7.4.4 激活目标体积	112
6.4.1 打开原来的数据文件	86	7.4.5 定位上模	113
6.4.2 改变模拟控制参数	87	7.4.6 检查上模运动设置	114
6.4.3 设置坯料边界条件	88	7.4.7 回顾接触物体的边界 条件	114
6.4.4 添加体积补偿参数	88	7.4.8 检查生成数据库文件	115
6.4.5 上模对称及运动设置	89	7.4.9 模拟和后处理	116
6.4.6 下模对称设置	89	7.5 二次转移热传导分析	116
6.4.7 定位上模	90	7.5.1 打开前处理	116
6.4.8 设置接触关系	90	7.5.2 设置模拟控制	117
6.4.9 检查生成数据库文件	91	7.5.3 模具的移动	118
6.4.10 模拟和后处理	92	7.5.4 检查生成数据库文件	120
综合习题	97	7.5.5 模拟和后处理	120
第 7 章 齿轮托架成形分析	98	7.6 终锻成形	120
7.1 分析问题	99	7.6.1 打开前处理	120
7.2 空气传热过程	100	7.6.2 设置模拟控制	120
7.2.1 创建一个新的问题	100	7.6.3 导入几何体	121
7.2.2 设置模拟控制	100	7.6.4 定位物体	121

7.6.5 设置模具对称面	123	9.2.9 检查生成数据库文件	164
7.6.6 设置模具运动	123	9.3 模拟和后处理	164
7.6.7 接触条件生成	123	综合习题	164
7.6.8 设置步数及停止条件	124	第 10 章 轧制分析	165
7.6.9 检查生成数据库文件	125	10.1 分析问题	166
7.6.10 模拟和后处理	125	10.2 建立模型	167
综合习题	128	10.2.1 创建一个新的问题	167
第 8 章 模具应力分析	129	10.2.2 型轧工艺的设置	167
8.1 分析问题	130	10.2.3 定义轧制工艺	168
8.2 建立模型	131	10.2.4 轧辊设计	170
8.2.1 新问题的建立	131	10.2.5 定义坯料	172
8.2.2 载入数据文件中的 计算步骤	131	10.2.6 定义轧辊	175
8.2.3 设置模拟控制	131	10.2.7 定义推块	177
8.2.4 添加附加的工具和 删除 Billet	133	10.2.8 接触关系设置	180
8.2.5 上模设置	133	10.2.9 设置模拟控制	182
8.2.6 下模设置	136	10.2.10 检查生成数据库文件	182
8.2.7 上模支撑	137	10.3 模拟和后处理	183
8.2.8 下模支撑	139	综合习题	186
8.2.9 定义接触关系	141	第 11 章 辊锻成形分析	187
8.2.10 检查生成数据库文件	142	11.1 分析问题	189
8.3 模拟和后处理	142	11.2 建立模型	189
综合习题	146	11.2.1 创建一个新的问题	189
第三篇 成形工艺分析实例	149	11.2.2 设置模拟控制	189
第 9 章 Wizard 的使用	151	11.2.3 坯料设置	190
9.1 问题分析	152	11.2.4 上辊设置	190
9.2 建立模型	152	11.2.5 下辊设置	191
9.2.1 创建一个新的问题	152	11.2.6 设置模拟控制的步数	192
9.2.2 基本设置	153	11.2.7 定义接触关系	192
9.2.3 坯料设置	155	11.2.8 检查生成数据库文件	193
9.2.4 上模设置	158	11.3 模拟和后处理	193
9.2.5 下模设置	160	综合习题	196
9.2.6 模具位置设置	162	第 12 章 楔横轧分析	197
9.2.7 接触关系设置	162	12.1 分析问题	198
9.2.8 设置模拟控制	162	12.2 建立模型	199
		12.2.1 创建一个新的问题	199
		12.2.2 设置模拟控制	199



12.2.3 坯料设置	199	15.2 建立模型	234
12.2.4 上辊设置	201	15.2.1 创建一个新的问题	234
12.2.5 下辊设置	202	15.2.2 设置模拟控制	234
12.2.6 挡板设置	203	15.2.3 材料设置	234
12.2.7 设置模拟控制的步数 ...	203	15.2.4 坯料设置	236
12.2.8 定义接触关系	204	15.2.5 上模设置	236
12.2.9 检查生成数据库文件 ...	205	15.2.6 下模设置	237
12.3 模拟和后处理	205	15.2.7 设置模拟控制的步数 ...	238
综合习题	208	15.2.8 定义接触关系	238
第 13 章 摆辗成形分析	209	15.2.9 检查生成数据库文件 ...	239
13.1 分析问题	210	15.3 模拟和后处理	239
13.2 建立模型	211	综合习题	241
13.2.1 创建一个新的问题	211	第 16 章 模具磨损分析	242
13.2.2 设置模拟控制	211	16.1 问题分析	243
13.2.3 坯料设置	212	16.2 建立模型	244
13.2.4 上模设置	213	16.2.1 创建一个新的问题	244
13.2.5 设置模拟控制的步数 ...	213	16.2.2 设置模拟控制	244
13.2.6 定义接触关系	214	16.2.3 导入毛坯几何文件	244
13.2.7 检查生成数据库文件 ...	214	16.2.4 网格划分	245
13.3 模拟和后处理	215	16.2.5 定义材料	246
综合习题	218	16.2.6 边界条件定义	246
第 14 章 旋压成形分析	219	16.2.7 定义对称面	246
14.1 分析问题	220	16.2.8 定义物体间关系	247
14.2 建立模型	221	16.2.9 定义材料的硬度	248
14.2.1 创建一个新的问题	221	16.2.10 模具运动	248
14.2.2 设置模拟控制	221	16.2.11 检查生成数据库文件	249
14.2.3 坯料设置	221	16.3 模拟和后处理	249
14.2.4 滚轮设置	222	综合习题	255
14.2.5 心轴设置	223	第 17 章 热处理	256
14.2.6 顶杆设置	224	17.1 问题分析	257
14.2.7 设置模拟控制的步数 ...	225	17.2 建立模型	258
14.2.8 定义接触关系	225	17.2.1 创建一个新的问题	258
14.2.9 检查生成数据库文件 ...	226	17.2.2 基本设置	258
14.3 模拟和后处理	226	17.2.3 输入几何体	258
综合习题	231	17.2.4 生成网格	260
第 15 章 断裂分析	232	17.2.5 材料的定义	261
15.1 分析问题	233		

17.2.6 坯料设定	262	18.2.5 晶粒边界条件设置	276
17.2.7 介质定义	263	18.2.6 位错密度常数设置	276
17.2.8 方案定义	265	18.2.7 再结晶设置	277
17.2.9 设置模拟控制	266	18.2.8 形核状况设置	277
17.3 模拟和后处理	268	18.2.9 晶粒生长设置	278
综合习题	271	18.2.10 流动应力和材料常数 设置	278
第 18 章 晶粒度分析	272	18.2.11 初始输入设置	280
18.1 分析问题	273	18.2.12 晶粒演变设置	280
18.2 建立模型	274	18.3 执行演变过程和后处理	281
18.2.1 创建一个新的问题	274	综合习题	289
18.2.2 追踪选项设置	274	附录	290
18.2.3 离散点阵设置	274	参考文献	291
18.2.4 边界条件设置	276		

第一篇

理论基础

第 1 章

塑性成形 CAE 技术



本章学习目标

- ★ 了解塑性成形 CAE 技术及国内外现状；
- ★ 了解塑性成形技术的特点；
- ★ 了解 DEFORM-3D 软件的发展、特点及功能。



本章教学要点

知识要点	能力要求	相关知识
塑性成形 CAE 技术现状	了解塑性成形 CAE 技术及国内外现状	CAE 技术及塑性成形 CAE 的定义、优点及常见技术
塑性成形技术的特点	了解塑性成形技术的特点	各种类型的常见的塑性成形技术原理及变形特点
DEFORM-3D 软件	了解 DEFORM-3D 软件的发展、特点及功能	了解有限元法及刚黏塑性有限元法



导入案例

最近几年,随着计算科学的快速发展和有限元技术应用的日益成熟,CAE技术模拟分析金属在塑性变形过程中的流动规律在现实生产中得到越来越广泛的应用。CAE技术的成功运用,不仅大大缩短了模具和新产品的开发周期,降低了生产成本,提高了企业的市场竞争能力,而且有利于将有限元分析法和传统的实验方法结合起来,从而推动模具现代制造业的快速发展。图 1.0 为某锻件预成形后的坯料应力分布。

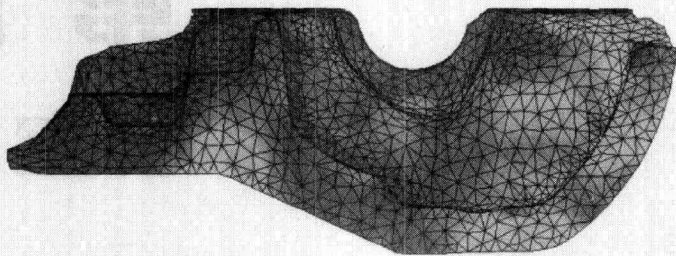


图 1.0 锻件预成形后的坯料应力分布

1.1 塑性成形 CAE 技术概述

塑性成形计算机辅助工程(CAE)的特点是以工程和科学问题为背景,建立计算模型并进行计算机仿真分析。一方面,CAE技术的应用,使许多过去受条件限制无法分析的复杂问题,通过计算机数值模拟得到满意的解答;另一方面,计算机辅助分析使大量繁杂的工程分析问题简单化,使复杂的过程层次化,节省了大量的时间,避免了低水平重复的工作,使工程分析更快、更准确,在产品的设计、分析、新产品的开发等方面发挥了重要作用。同时 CAE 这一新兴的数值模拟分析技术在国外得到了迅猛发展,技术的发展又推动了许多相关的基础学科和应用科学的进步。

在企业中,材料科学中 CAE 技术的应用,能够提高产品质量,缩短新产品开发周期,降低生产成本。可以使产品更早地投入市场,获得更好的经济效益,更重要的是赢得了宝贵的时间。时间的丧失意味着失去市场先机,最终将失去客户。

1.1.1 国外 CAE 技术现状

衡量 CAE 技术水平的重要标志之一是分析软件的开发和应用。目前,一些发达国家在这方面已达到了较高的水平,仅以有限元分析软件为例,国际上不少先进的大型通用有限元计算分析软件的开发已达到较成熟的阶段并已商品化,如 ANSYS、MARC、DEFORM、DYNAFORM、AUTOFORM、SUPERFORGE、SUPERFORM、MOLDFLOW 等。这些软件具有良好的前后处理界面,静态和动态过程分析以及线性和非线性分析等多种强大的功能,都通过了各种不同行业的大量实际算例的反复验证,其解决复杂问题的能力和效率,已得到学术界和工程界的公认。在北美、欧洲和亚洲一些国家的机械、化工、土木、水利、材

料、航空、船舶、冶金、汽车、电气工业设计等许多领域中得到了广泛的应用。

就 CAE 技术的工业化应用而言,西方发达国家目前已经达到了实用化阶段。通过 CAE 与 CAD、CAM 等技术的结合,使企业能对现代市场产品的多样性、复杂性、可靠性、经济性等做出迅速反应,增强了企业的市场竞争能力。在许多行业中,计算机辅助分析已经作为产品设计与制造流程中不可逾越的一种强制性的工艺规范加以实施。以国外某大汽车公司为例,绝大多数的汽车零部件设计都必须经过多方面的计算机仿真分析,否则根本通不过设计审查,更谈不上试制和投入生产。计算机数值模拟现在已不仅仅作为科学研究的一种手段,在生产实践中也已作为必备工具普遍应用。

1.1.2 我国 CAE 技术现状

随着我国科学技术现代化水平的提高,计算机辅助工程技术也在我国蓬勃发展起来。科技界和政府的主管部门已经认识到 CAE 技术对提高我国科技水平,增强我国企业的市场竞争能力乃至整个国家的经济建设都具有重要意义。近年来,我国的 CAE 技术研究开发和推广应用在许多行业和领域已取得了一定的成绩。但从总体来看,研究和应用的水平还不能说很高,某些方面与发达国家相比仍存在不小的差距。从行业和地区分布方面来看,发展也还很不平衡。

目前,一些大型通用有限元分析软件已经引进我国,在汽车、航空、机械、材料等许多行业得到了应用,而且在某些领域的应用水平并不低。不少大型工程项目也采用了这类软件进行分析。我国已经拥有一批科技人员在从事 CAE 技术的研究和应用,取得了不少研究成果和应用经验,使我们在 CAE 技术方面紧跟着现代科学技术的发展,开发出 CAXA 等具有自己产权的 CAE 软件。但是,这些研究和应用的领域以及分布的行业和地区还很有限,现在还主要局限于少数具有较强经济实力的大型企业、部分大学和研究机构。

我国的计算机分析软件开发是一个薄弱环节,严重地制约了 CAE 技术的发展。在 CAE 分析软件开发方面,我国目前仍落后于一些发达国家。计算机软件是高新技术和高附加值的商品,目前的国际市场为美国等发达国家所垄断。我国自己民族的软件工业还非常弱小,仅占有很少量的市场份额。作为一个国家,一个民族不能长期依赖于引进外国的技术和产品,因此我们必须加大力度开发自己的计算机分析软件,只有这样才能改变在技术上和经济上受制于人的局面。

1.2 金属塑性成形技术

金属塑性成形技术是现代制造业中金属加工的重要方法之一,它是金属坯料在模具的外力作用下发生塑性变形,并被加工成棒材、板材、管材以及各种机器零件、构件或日用器具的技术。

与金属切削加工、铸造、焊接等加工方法相比,金属塑性成形具有以下特点:

(1) 组织、性能得到改善和提高。金属材料经过相应的塑性加工后,其内部组织发生显著变化,例如炼钢铸出的钢锭,其内部组织疏松多孔,晶粒粗大且不均匀,偏析也比较严重,必须经过锻造、轧制或挤压等塑性加工,才能使其结构致密,组织改善,性能提高。因此,90%以上的铸钢都要经过塑性加工成钢坯或钢材。此外,经过塑性成形后,金



属的流线分布合理,从而改善了工件的性能。

(2) 材料利用率高。金属塑性成形主要是靠金属在塑性状态下的体积转移来实现的,不产生切屑,因而材料利用率高,可以节约大量的金属材料。净成形工艺材料利用率接近 100%。

(3) 生产效率高,适用于大量生产。这一点在金属的轧制、拉丝和挤压等工艺中尤为明显。在冲压工艺中,随着生产机械化与自动化程度的提高,生产率也相应得到提高。例如,高速压力机的行程次数已达到 1500~1800 次/min,在双动拉深压力机上成形一个汽车覆盖件仅需几秒。

(4) 尺寸精度高。不少成形方法已达到少、无切削的要求。例如,精密模锻的锥齿轮,其齿形部分可不经切削加工而直接使用。精锻叶片的复杂曲面可达到只需磨削的精度,旋压液压缸的表面粗糙度 Ra 范围为 0.40~0.20 μm ,可以直接使用。

由于金属塑性加工具有上述特点,因而在冶金、有色金属加工、汽车、拖拉机、宇航、船舶、军工、仪器仪表、电器和日用五金等工业部门中得到广泛应用。

金属塑性成形的种类很多,分类方法目前还不统一。按照成形的特点,一般把塑性加工分为轧制、拉拔、挤压、锻造和冲压五大类。每类又包括多种加工方法,形成各自的工艺领域。在轧制、拉拔和挤压的成形过程中,变形区是不变的,属稳定的塑性流动过程,适于连续的大量生产,提供型材、板材、管材和线材。金属塑性成形在工业生产中分为:自由锻、模锻、板料冲压、挤压、拉拔、轧制等工艺方法。具体成形工艺不做详细介绍,具体可见《材料成形技术基础》等教材。

1.3 DEFORM - 3D 软件

DEFORM - 3D 是针对复杂金属成形过程的三维金属流动分析的功能强大的过程模拟分析软件。该软件是一套基于工艺模拟系统的有限元系统,专门设计用于分析各种金属成形过程中的三维(3D)流动,提供极有价值的工艺分析数据及有关成形过程中的材料和温度流动,典型的 DEFORM - 3D 应用包括锻造、摆辗、轧制、旋压、拉拔和其他成形加工手段。DEFORM - 3D 是模拟 3D 材料流动的理想工具。它不仅稳健性好,而且易于使用。DEFORM - 3D 强大的模拟引擎能够分析金属成形过程中多个关联对象耦合作用的大变形和热特性。系统中集成了在任何必要时能够自行触发自动网格重划生成器,生成优化的网格系统。在要求精度较高的区域,可以划分细密的网格,从而降低题目的运算规模,并显著提高计算效率。

DEFORM - 3D 图形界面既强大又灵活,为用户准备输入数据和观察结果数据提供了有效工具,DEFORM - 3D 还提供了 3D 几何操纵修正工具,这对于 3D 过程模拟极为重要。DEFORM - 3D 延续了 DEFORM 系统几十年来一贯秉承的力保计算准确可靠的传统。在最近的国际范围复杂零件成形模拟招标演算中,DEFORM - 3D 的计算精度和结果可靠性,被国际成形模拟领域公认为第一。相当复杂的工业零件,如连杆、曲轴、扳手,具有复杂筋-翼的结构零件、泵壳和阀体,DEFORM - 3D 都能够令人满意地例行完成。

1.3.1 DEFORM 的发展

20 世纪 70 年代后期,位于美国加州伯克利的加利福尼亚大学小林研究室在美国军方的支持下开发出有限元软件 ALPID(Analysis of Large Plastic Incremental Deformation)。

1990年在此基础上开发出 DEFORM-2D 软件。该软件的开发者独立出来成立 SFTC 公司 (Scientific Forming Technologies Co.), 并推出了 DEFORM-3D 软件, DEFORM-3D 是集成了原材料、成形、热处理和机加工的软件。

DEFORM 的理论基础是经过修订的拉格朗日定理, 属于刚塑性有限元法, 其材料模型包括刚性材料模型、塑性材料模型、多孔材料模型和弹性材料模型。DEFORM-2D 的单元类型是四边形, DEFORM-3D 的单元类型是经过特殊处理的四面体, 四面体单元比六面体单元容易实现网格重划分。DEFORM 软件有强大的网格重划分功能, 当变形量超过设定值时自动进行网格重划分。在网格重划分时, 工件的体积有部分损失, 损失越大, 计算误差越大, DEFORM 在同类软件中体积损失最小。

DEFORM 软件提供了多种迭代计算方法。同时该软件提供了丰富的材料库, 几乎包含了所有常用材料的弹性变形数据、塑性变形数据、热能数据、热交换数据、晶粒长大数据、材料硬化数据和破坏数据。

1.3.2 DEFORM 的特点

DEFORM 软件具有以下特点:

(1) DEFORM-3D 是在一个集成环境内综合建模、成形、热传导和成形设备特性进行模拟仿真分析。适用于热、冷、温成形, 提供极有价值的工艺分析数据。如: 材料流动、模具填充、锻造负荷、模具应力、晶粒流动、金属微结构和缺陷产生发展情况等 DEFORM-3D 处理的对象为复杂的三维零件、模具等。

(2) 不需要人工干预, 全自动网格再剖分。

(3) 前处理中自动生成边界条件, 确保数据准备快速可靠。

(4) DEFORM-3D 模型来自 CAD 系统的面或实体造型(STL/SLA)格式。

(5) 集成有成形设备模型, 如: 液压压力机、锤锻机、螺旋压力机、机械压力机等。

(6) 表面压力边界条件处理功能适用于解决胀形工艺模拟。

(7) 单步模具应力分析方便快捷, 适用于多个变形体、组合模具、带有预应力环时的成形过程分析。

(8) 材料模型有弹性、刚塑性、热弹塑性、热刚黏塑性、粉末材料、刚性材料及自定义类型。

(9) 实体之间或实体内部的热交换分析既可以单独求解, 也可以耦合在成形模拟中进行分析。

(10) 具有 FLOWNET 和点迹示踪、变形、云图、矢量图、力—行程曲线等后处理功能。

(11) 具有 2D 切片功能, 可以显示工件或模具剖面结果。程序具有多联变形体处理能力, 能够分析多个塑性工件和组合模具应力。

(12) 后处理中的镜面反射功能, 为用户提供了高效处理具有对称面或周期对称面的机会, 并且可以在后处理中显示整个模型。

(13) 自定义过程可用于计算流动应力、冲压系统响应、断裂判据和一些特别的处理要求, 如金属微结构、冷却速率、力学性能等。