

材料成形CAD/CAE 技术与应用

CAILIAO CHENGXING CAD/CAE
JISHU YU YINGYONG

彭必友 余玲 肖兵 | 编著



化学工业出版社

材料成形CAD/CAE 技术与应用

CAILIAO CHENGXING CAD/CAE
JISHU YU YINGYONG

彭必友 余玲 肖兵 | 编著



化学工业出版社

·北京·

材料成形 CAD/CAE 技术将为材料成形过程研究、工模具设计等带来深远影响。借助 CAD/CAE 技术,设计人员和工艺人员可以模拟材料成形过程,缩短工模具开发周期,降低产品生产成本。

本书系统讲述了材料成形 CAD/CAE 技术的发展与应用;几何造型技术;参数化建模、特征建模、装配建模技术;数据交换技术;逆向工程技术;有限元及有限差分法基本概念及原理;塑料注射成型 CAE 技术及应用;金属铸造成型 CAE 技术及应用;板料冲压成形 CAE 技术及应用;金属焊接成形 CAE 技术及应用等。

全书强调理论联系实际,深浅适度,配合大量计算机实际操作与先进 CAD/CAE 软件的工程应用,能快速提高解决实际问题的能力,为工作和学习奠定坚实基础。本书可供广大从事材料成形与工模具设计制造的设计人员、技术人员和科研人员参考,也可作为高等院校材料成形及控制工程专业、材料类和机械类相关专业师生的教学参考书或教材。

图书在版编目 (CIP) 数据

材料成形 CAD/CAE 技术与应用/彭必友,余玲,肖兵
编著. —北京:化学工业出版社,2017.11
ISBN 978-7-122-30731-6

I. ①材… II. ①彭…②余…③肖… III. ①工程材料-成型-计算机辅助技术 IV. ①TB3-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 247105 号

责任编辑:朱 彤

文字编辑:陈 喆

责任校对:王素芹

装帧设计:史利平

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 装:高教社(天津)印务有限公司

787mm×1092mm 1/16 印张 18 字数 470 千字 2018 年 1 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:68.00 元

版权所有 违者必究

前言

FOREWORD

材料成形技术是指利用各种方式和手段赋予相关材料以特定形状、具有特定属性、能够满足特定需要的一类技术的总称。随着人类社会的进步,材料成形已经从经验走向科学、从手工生产发展到全自动化生产。材料成形 CAD/CAE 技术在工业发达国家已得到较为广泛的认同与应用,它为材料成形过程研究、工模具设计、工艺参数优化、产品质量控制等方法 and 手段的变革带来深远影响,设计人员和工艺人员可以借助 CAD/CAE 平台模拟和预测材料成形过程中潜在的各种问题,及时修改和优化设计,从而减少物理实验次数,缩短工模具开发周期,降低产品生产成本。

本书在内容编排上,侧重于将学习材料成形 CAD/CAE 技术的基础理论与专业知识及专业技能有机地结合,舍去过多的理论阐述和数学公式推导,为每一章增加一些操作应用实例,使广大读者能够在较短的时间内,了解和掌握材料成形 CAD/CAE 应用的基础理论与相关技术;同时,通过掌握 1~2 个主流软件的操作,配合必要的计算机实际操作,借助 CAD/CAE 方法,提高解决实际问题的能力,为实际工作奠定坚实的基础。

全书共分 7 章,主要内容有:材料成形 CAD/CAE 技术的发展与应用;几何造型技术;参数化建模、特征建模、装配建模技术;数据交换技术;逆向工程技术;有限元及有限差分法基本概念及原理;塑料注射成型 CAE 技术及应用;金属铸造成型 CAE 技术及应用;板料冲压成型 CAE 技术及应用;金属焊接成型 CAE 技术及应用等。本书可供广大从事材料成形与工模具设计制造的设计人员、技术人员和科研人员参考,也可作为高等院校材料成形及控制工程专业、材料类和机械类相关专业师生的教学参考书或教材。

本书由西华大学组织编写。其中,彭必友编写第 1、3 章,并负责全书统稿;肖兵编写第 2、7 章;余玲编写第 4、5 章;查五生编写第 6 章。书中的部分操作实例由以下同学协助完成:王永强、赵祥、刘杰、王雪飞、王鹏、黄杰、徐成峰、魏琪、彭芮、王岚等。除此之外,ESI 成都分公司的刘晋提供了 SYSWELD 部分的实例素材,成都扶郎花科技有限公司提供了逆向建模部分的实例素材,在此表示感谢!此外,傅建教授详细审阅了本书的结构及全文,担任了本书主审,提出了许多宝贵的修改意见,在此深表感谢!

由于编著者水平和时间有限,不足之处在所难免,敬请广大读者批评指正。

编著者

2017 年 8 月

目录

CONTENTS

第1章 绪论 1

1.1 ▶ 前言	1
1.2 ▶ 材料成形 CAD/CAE 概述	2
1.2.1 传统分析法的弱点	2
1.2.2 工程意义	2
1.2.3 应用现状	4
1.2.4 发展趋势	7
1.3 ▶ 常见通用 CAD/CAE 系统	9
思考题	10

第2章 计算机辅助设计 (CAD) 技术及应用 11

2.1 ▶ CAD 技术概述	11
2.1.1 CAD 定义	11
2.1.2 CAD 技术的发展历程	12
2.1.3 现代 CAD 的技术特征	14
2.1.4 CAD 系统功能组成	15
2.2 ▶ 几何造型技术	17
2.2.1 形体的定义	18
2.2.2 线框模型	19
2.2.3 表面模型	19
2.2.4 实体模型	20
2.3 ▶ 参数化建模技术	23
2.3.1 参数化建模概述	23
2.3.2 基于约束驱动的草图绘制	25
2.3.3 常用的参数化设计方法	27
2.4 ▶ 特征建模技术	28
2.4.1 特征的定义与分类	28
2.4.2 参数化设计软件中的特征	28
2.4.3 特征建模方法	30

2.4.4	特征关系	40
2.5	▶ 装配建模技术	41
2.5.1	装配建模原理	41
2.5.2	装配建模方法	43
2.5.3	装配约束分类	44
2.6	▶ 数据交换技术	46
2.6.1	产品数据定义	46
2.6.2	产品数据交换标准	47
2.6.3	常见数据交换标准	48
2.7	▶ CAD 系统智能设计技术	53
2.7.1	人工智能	53
2.7.2	专家系统	54
2.7.3	模糊理论	55
2.7.4	人工神经网络	56
2.7.5	虚拟现实技术	58
2.8	▶ 逆向工程技术	59
2.8.1	逆向工程的定义	59
2.8.2	逆向设计流程	60
2.8.3	三维扫描技术与设备	61
2.8.4	主流专业软件介绍	65
2.8.5	实例操作	67
思考题		78

第3章 计算机辅助工程 (CAE) 技术基础

94

3.1	▶ 有限元分析概述	94
3.2	▶ 有限元法基础	95
3.2.1	基本概念与思路	95
3.2.2	有限元方程的建立与应用	96
3.2.3	有限元解的收敛性与误差控制	104
3.2.4	非线性问题的有限元法	107
3.2.5	有限元求解应用问题的一般步骤	109
3.3	▶ 有限差分法基础	110
3.3.1	基本概念	110
3.3.2	有限差分数学知识	111
3.3.3	利用 FDM 求解应用问题的一般步骤	113
3.4	▶ CAE 分析的若干注意事项	113
3.4.1	简化模型	113
3.4.2	选择单元	114
3.4.3	划分网格	116
3.4.4	建立初始条件和边界条件	117

3.4.5 定义材料参数	118
思考题	118

第4章 塑料注射成型 CAE 技术及应用

119

4.1 ▶ 概述	119
4.1.1 塑料注射成型 CAE 技术的研究内容	119
4.1.2 CAE 技术在塑料注射成型中的应用	119
4.2 ▶ 注射成型 CAE 技术基础	123
4.2.1 流动模拟	124
4.2.2 保压分析	126
4.2.3 冷却分析	129
4.2.4 结晶、取向分析	131
4.2.5 应力与翘曲分析	131
4.3 ▶ 主流专业软件简介	132
4.3.1 Moldflow	132
4.3.2 其他软件	133
4.4 ▶ CAE 前处理参数设置	136
4.4.1 网格模型技术	136
4.4.2 网格统计与修复	137
4.4.3 一模多腔布置	140
4.4.4 浇注系统和冷却水道创建	140
4.5 ▶ 操作实例	141
4.5.1 模拟分析前的准备	141
4.5.2 分析结果及其应用	144
4.5.3 堵盖成型的裂纹问题	146
思考题	149

第5章 金属铸造成型 CAE 技术及应用

150

5.1 ▶ 概述	150
5.1.1 铸造 CAE 技术的研究内容	150
5.1.2 CAE 技术在铸造成型中的应用	151
5.2 ▶ 铸造成型 CAE 技术基础	153
5.2.1 铸件凝固过程 CAE	153
5.2.2 铸液充型过程 CAE	160
5.2.3 铸件凝固收缩缺陷的 CAE	167
5.3 ▶ 主流专业软件简介	172
5.3.1 MAGMASoft	172

5.3.2	ProCAST	173
5.3.3	华铸 CAE	174
5.3.4	其他软件	174
5.4	► CAE 分析参数设置 (HZCAE 重力铸造)	177
5.4.1	网格划分及检查	177
5.4.2	纯凝固传热计算 (第 1 种计算)	178
5.4.3	纯充型流动计算 (第 2 种计算)	178
5.4.4	充型与传热耦合计算 (第 3 种计算)	180
5.4.5	基于耦合的凝固计算 (第 4 种计算)	181
5.5	► 操作案例	182
5.5.1	问题描述	182
5.5.2	CAE 分析参数设置	184
5.5.3	分析结果与讨论	189
思考题		191

第6章 板料冲压成形 CAE 技术及应用

192

6.1	► 概述	192
6.1.1	板料冲压成型的基本方法	192
6.1.2	CAE 技术在冲压成形中的应用	193
6.2	► 大变形弹塑性有限元法	201
6.2.1	大变形下的应变与应力	201
6.2.2	大变形弹塑性本构方程	206
6.2.3	大位移有限应变弹塑性有限元刚度方程	206
6.3	► 主流专业软件简介	208
6.3.1	Dynaform	209
6.3.2	PAM-STAMP	211
6.3.3	其他软件	211
6.4	► CAE 分析参数设置	213
6.4.1	单元选择与单元尺寸控制	213
6.4.2	材料模型的确定	217
6.4.3	拉深筋的处理	220
6.4.4	界面接触与摩擦	222
6.4.5	毛坯尺寸的反向设计	223
6.4.6	模具的运动和加载	226
6.4.7	冲压速度的设置	226
6.4.8	多工步成形设置	227
6.5	► 操作实例 1——S 轨制件的冲压成形	228
6.5.1	准备分析模型	228
6.5.2	设置分析参数与补充、定位网格模型	230
6.5.3	计算求解	233

6.5.4	判读分析结果	235
6.5.5	成形质量改善途径	235
6.6 ▶	操作实例 2——多工步冲压成形	236
6.6.1	工艺方案的制定	236
6.6.2	有限元模型的建立	237
6.6.3	CAE 分析结果讨论	238
思考题		243

第7章 金属焊接成形 CAE 技术及应用 244

7.1 ▶	概述	244
7.1.1	焊接成形 CAE 的研究内容	244
7.1.2	CAE 技术在焊接成形中的应用	245
7.1.3	焊装变形预测	247
7.2 ▶	焊接过程 CAE	250
7.2.1	熔池传热数学模型	251
7.2.2	初边值条件	254
7.2.3	计算方法	256
7.2.4	焊接热过程 CAE 的若干问题	256
7.3 ▶	主流专业软件简介	262
7.4 ▶	操作实例 1——ANSYS	263
7.5 ▶	操作案例 2——SYSWELD	267
7.5.1	有限元模型的构建	267
7.5.2	网格检查及清理	268
7.5.3	焊接工艺设置	271
7.5.4	后处理	277
思考题		278

参考文献 279

第1章

绪论

1.1 前言

CAD/CAE 技术是以计算机为主要手段来辅助设计者完成某项设计工作的建立、修改、分析和优化,并输出信息全过程的综合性高新技术。其中 CAD 是对产品的功能、性能、材料等内容进行定义,其主要结果是对产品形状和大小的几何描述。传统设计的几何描述方式是工程视图,载体为图纸。现代设计的几何描述方式主要采用三维几何模型,载体为计算机。CAE 是对产品的功能和性能进行预测和验证,以保证产品在制造以后能够实现预期功能和满足各种性能指标。分析是保证产品质量的重要环节,是评估设计方案、优化产品结构的重要手段。作为现代先进设计与制造技术的基础,CAD/CAE 是多学科交叉、知识密集型的高新技术。它使产品设计的传统模式发生了深刻变革,不仅改变了工程界的设计思想及思维方式,而且影响到企业的管理和商业对策,是现代企业必不可少的设计手段。

以液态铸造成型、固态塑性成形和连接成形,以及黏流态注射成型等为代表的材料加工工程是现代制造业的重要组成部分,材料加工不仅赋予成品件或半成品件几何形状,而且还决定其组织结构与使用性能。材料成形 CAD/CAE 将一个成形过程(或过程的某一方面)定义为由一组控制方程加上边界条件构成的定解问题,利用合适的数值方法求解该定解问题,从而获得对成形过程的定量认识。或者简而言之,材料成形 CAD/CAE 是指在计算机系统平台上建立产品的数字化模型,并利用数值方法仿真(虚拟)材料的成形过程(或过程的某一方面)。材料成形 CAD/CAE 的目的是帮助人们认识与掌握材料特性、成形方案、工艺参数、产品形状、模面结构、浇注系统、工装夹具、载荷输入等内外在因素对材料成形质量和工模具寿命的影响;同时,为缩短成形制品与成形模具的开发周期、减少物理试模次数、优化现场成形工艺、选用成形设备、控制产品质量、降低生产成本提供定量或定性数据支持。

材料成形 CAD/CAE 涉及工程力学、流体力学、物理化学、冶金学、材料学、材料成形原理、材料成形工艺、应用数学、计算数学,以及图形学、电磁学、软件工程和计算机技术等诸多相关学科,是多学科知识及技术的交叉与融合,见图 1-1。当然,对于不同的材料成形领域(铸造、锻压、焊接、注射等),所涉及的

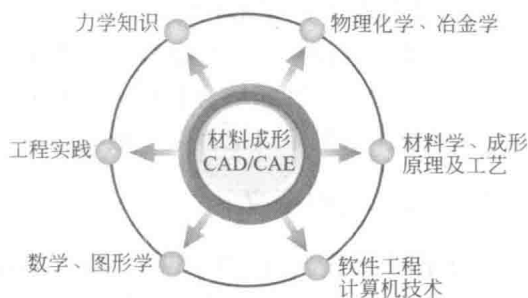


图 1-1 材料成形 CAD/CAE 技术涉及的学科领域

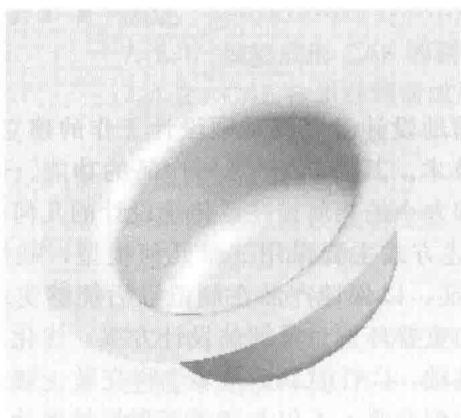
学科种类会有所不同。

广泛的学科理论、合理的数学模型（数理方程）、高效的计算方法、准确的材料参数、严格的边界定义、可靠的检测手段、必要的物理实验，以及坚实的专业知识、丰富的现场经验和成熟的 CAD/CAE 系统是确保数值模拟技术在材料成形领域成功应用的关键。

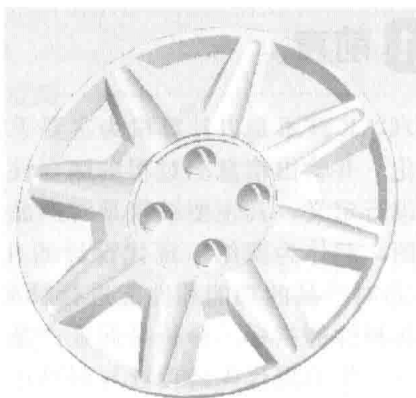
1.2 材料成形 CAD/CAE 概述

1.2.1 传统分析法的弱点

问题 1：如图 1-2 所示的制件，在成形过程中会产生哪些缺陷？出现的部位在何处？



(a) 圆筒形制件的拉深成形过程(冲压件)



(b) 某轿车车轮装饰盖(注塑件)

图 1-2 成形件

问题 2：你在思考刚才问题的时候，是怎样得出的结论？是依靠经验还是书本知识？还是通过计算得出的（比如计算拉深系数）？

问题 3：如何绘制图 1-2(a) 制件冲压成形过程中的应力应变分布云图？制件各处的厚度具体数值为多少？图 1-2(b) 制件在充型过程和冷却过程中各处的温度具体为多少？怎样变化？通过传统的分析方法可否得到上述数据？

从上面的 3 个问题，我们依据书本知识或现场工程实践，能较容易地回答可能产生的缺陷及部位，但要想给出在成形过程中制件各处的定量数据是非常困难，甚至是不可能的。这是由于传统分析法具有如下弱点。

- ① 靠经验类比（公式中的各种系数）与较大的安全系数来确定结构尺寸和用材。
- ② 对结构动特性和耦合特性的分析基本无能为力。
- ③ 对设计结果难以把握，一般要通过实验来验证。

1.2.2 工程意义

为了弥补传统分析法的弱点，如果我们通过计算机来模拟该成形过程，就能看到成形整个过程中的应力应变、材料厚度变化、成形缺陷的产生等，见图 1-3。

因此，材料成形 CAD/CAE 的工程意义主要体现在辅助工模具开发和成形工艺设计等行业的工程技术人员完成下述三个方面的工作。

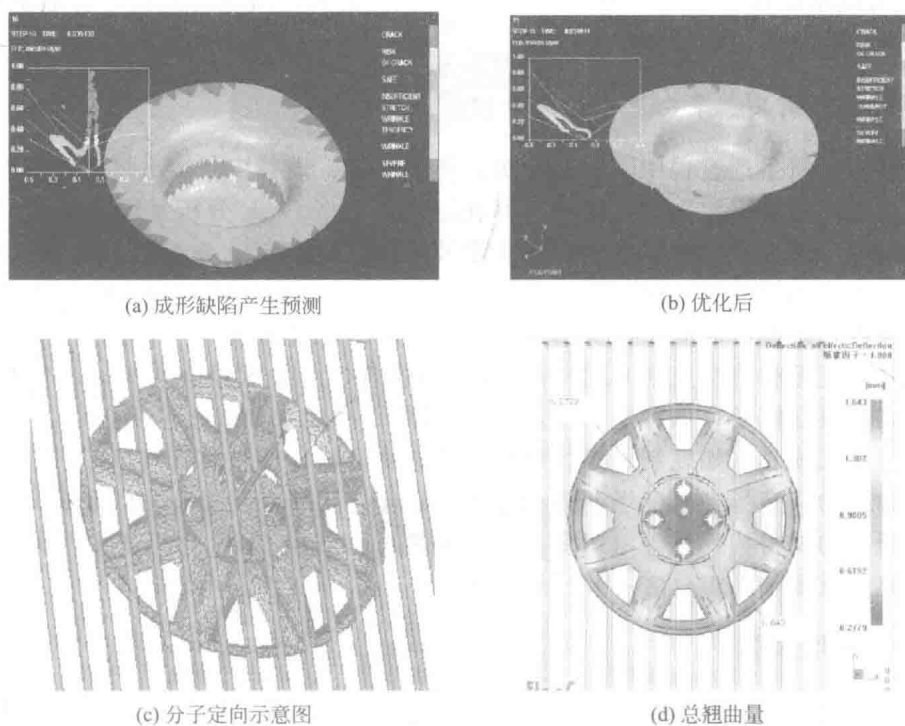


图 1-3 材料成形 CAE 分析结果

(1) 制定和优化材料成形方案与模具设计方案

① 选择最佳成形工艺方法（例如：对于给定的金属制件，是采用压力成形、铸造成型，或是采用焊接成形？如果采用压力成形，具体工艺方法是冲压、挤压、锻造或其他）。

② 制定成形工艺流程与工艺参数（例如：利用级进模成形制件的工步顺序安排、每一工步的冲压速度和压边力确定等），并对其流程及参数进行优化，以提高成形能源和成形材料的利用率（例如：焊接热源、热处理保温时间、冲压板料排样、模锻件飞边控制等）。

③ 确定或改进模具设计方案（例如：注射模具的型腔数及其布局、浇注系统类型及其结构、模温调节系统结构及其孔路布局等）。

④ 预测在已知条件（材料一定、结构一定、工艺方法和工艺参数一定）下，产品成形的可行性及其成形质量，为成形方案和模具设计方案的改进与优化提供依据。

⑤ 确定成形设备及其辅助设备必须具备的生产能力（例如：压铸机的锁型力、压射力、压射比压、压室直径等，同压铸机配套的保温电炉容量、炉膛温度等）。

⑥ 改善和优化成形制件的工艺结构（例如：板料拉深的最小圆角半径、模锻零件的最小脱模斜度等）。

(2) 解决工模具调试或产品试成形过程中的技术问题

成形工具或（和）模具制造出来后需要进行一系列调试。调试目的：一是检查成形工模具的结构是否正确、各组成机构的动作次序是否合理，以及机构运动是否顺畅；二是检验成形工模具是否匹配成形设备和成形方案设计中拟定的工艺参数、能否生产出合格的成形制品。前者属于工模具的结构性调试，后者则为工模具与制品生产相结合的综合性调试。相对工模具的物理调试或制品的物理试成形是一个费时、费事的反复迭代过程，利用材料成形

CAE 分析, 可以辅助现场人员迅速地、有针对性地发现和定位综合调试中存在的技术问题, 提出相应的解决方案, 缩短综合调试周期。

(3) 解决成形制品批量生产中的质量控制问题

成形制品在批量生产过程中, 材料批次、环境条件、设备控制、人员操作等差异都将给产品质量的稳定性带来一定影响。对此, 可利用材料成形 CAE 分析系统或其他 CAE 系统, 仿真成形质量波动的生产现场, 找出造成质量波动的关键因素, 分析质量问题产生的原因, 有针对性进行成形质量控制。同时, 还可利用材料成形 CAE 分析系统进一步优化产品的现场成形工艺参数, 改善产品质量, 提高生产效率, 降低设备能耗等。

除此之外, 还可将材料成形 CAE 分析技术与物理实验技术结合起来, 研究新材料的成形特性, 研究材料在模腔 (如铸造、注塑、熔化焊)、模膛 (如锻造、挤压)、凸凹模 (如冲压) 或其他特殊工模具 (如轧制、拉拔等) 中的流动过程、特点及其规律, 研究材料成形中各物理场 (如应力应变场、温度场、流动场等) 的变化及其交互影响, 以及研究成形 (包括热处理) 过程中的材料相变化与组织变化等, 即把材料成形 CAE 分析技术作为现代理论研究和应用研究的重要辅助工具之一。

1.2.3 应用现状

(1) 材料液态成形

材料液态成形 CAD/CAE 分析多应用于模拟液态金属重力铸造、高/低压铸造、熔模铸造、壳型铸造、离心铸造、连续铸造、半固态铸造等成型工艺方法中的充型、凝固和冷却过程, 预测铸造缺陷 (如缩孔、缩松、裂纹、裹气、冲砂、冷隔、浇不足), 分析液/固 (凝固、结晶) 和固/固 (含热处理) 相变、铸件组织 (相组成物和晶粒形貌及尺寸)、应力和变形, 以及金属模具寿命等, 为工艺设计、模具设计和过程控制的调整与优化提供定量或半定量依据。

图 1-4 是某砂型铸件的模拟充型过程, 根据对液态金属流动状况和液面变化的观察分析, 可以了解是否产生冲砂、裹气、浇注不足等缺陷。

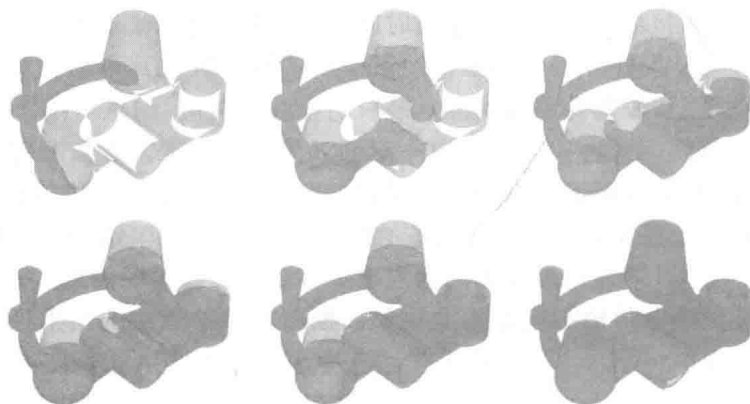


图 1-4 砂型铸造中的液态金属模拟充型过程

图 1-5 模拟了铸件的冷却凝固过程。通过观察, 可以了解铸液的凝固顺序, 发现缩孔、缩松、冷隔等铸造缺陷的潜在部位。

图 1-6 展示了过冷度 ΔT 对 Al-13Si 铸造合金结晶组织的影响。由图 1-6 可见, 随凝固时合金液的过冷度 ΔT 增加, 试样截面铸态组织由粗大的柱状晶转变成细小的纯等轴晶。该模拟结果对于控制铸件结晶的工艺条件、获取满意的微观组织及使用性能很有帮助。

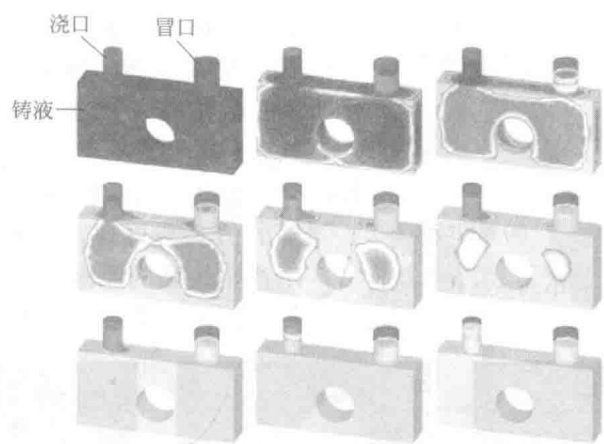


图 1-5 模拟铸件冷却凝固过程

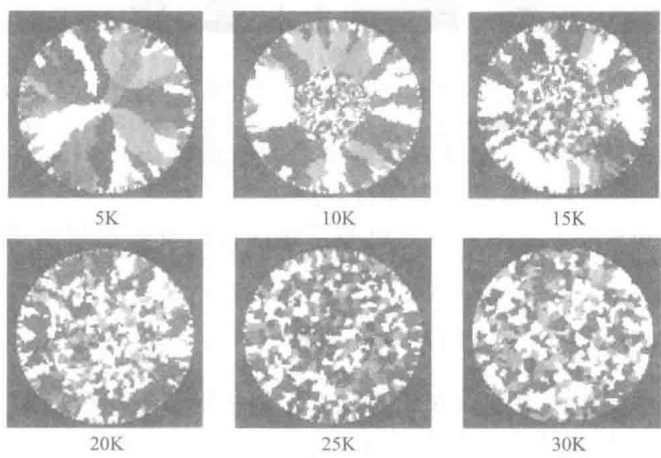


图 1-6 过冷度 ΔT 对 Al-13Si 铸造合金结晶组织的影响

(2) 材料塑性成形

材料塑性成形的工艺方法有很多，包括冲压、挤压、锻造、轧制、拉拔等。目前，CAE 分析在金属板料冲压、金属块料锻造、挤压和轧制领域的应用较成功。通过数值仿真实验，可以直观展示金属塑性成形过程中的材料流动、加工硬化、应力应变、回弹变形、动/静态再结晶、热处理相变等物理现象，揭示材料内部的微观组织形貌及其变化，考察对材料成形质量产生影响的温度、摩擦、模面结构、界面约束、加载速度等工艺条件，预测潜在的材料成形缺陷以及对应的工模具寿命。

图 1-7 是利用 CAD/CAE 分析软件仿真汽车覆盖件和骨架件的拉深过程（最终结果截图）。通过对未充分拉深区、起皱区和破裂区的分析，可以判断制件拉深成形质量，并结合

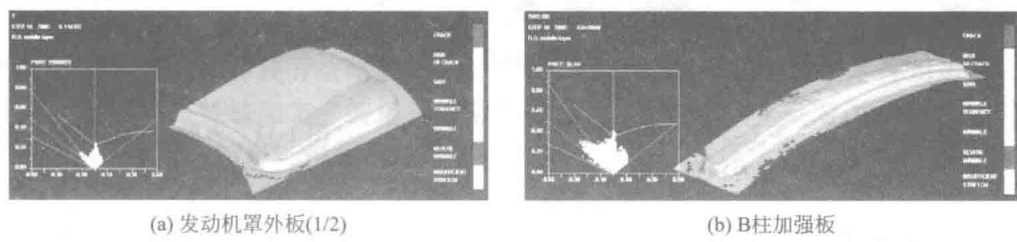


图 1-7 汽车覆盖件拉深成形

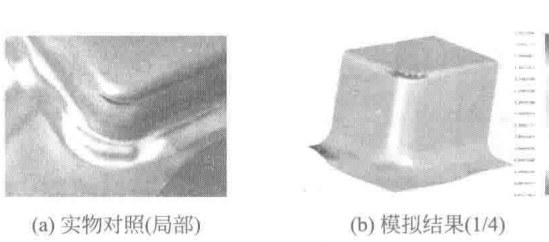


图 1-8 方形盒拉深过程中的边角破裂分析

材料成形极限图 (FLD) 了解制件内的应变状况及其分布, 预测给定工艺条件 (包括模面工艺结构、冲压速度、压边力等) 下产生缺陷的趋势。

图 1-8 是对材料冲压成形件中已产生的缺陷的仿真与再现, 以便进一步定量分析和揭示产生缺陷的原因。

图 1-9 模拟了钢轨的辊压成形过程。

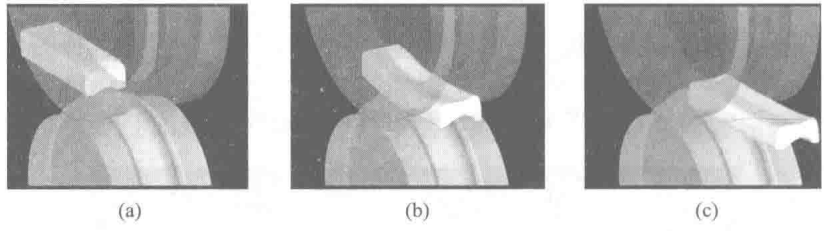


图 1-9 模拟钢轨的辊压成形过程

图 1-10 是十字接头和伞形齿轮多工步精密模锻成形的仿真实例。在伞齿轮成形 CAD/CAE 分析实验中, 根据锻件的轴对称结构特点, 采用了对象简化分析技术 (即先任意截取其中一个齿进行建模和求解, 然后再按约束关系将该齿的分析结果移植到整个齿轮), 以提高求解计算的速度。

(3) 材料黏流态成形

材料黏流态成形主要指塑料熔体在黏流状态下的注射、挤出等成形。目前, 材料黏流态成形 CAD/CAE 分析技术普遍应用在塑料注射成型领域, 涉及的成型工艺方法有普通流动注射、热流道注射、气辅注射、双料顺序注射、反应注射、微发泡注射和芯片注射封装等。通过对材料注射成型的 CAE 分析, 了解成形方案、工艺参数、产品形状、模具结构、浇注系统、冷却水道等因素对材料成形质量和模具寿命的影响; 并且在物理实验的支撑下, 研究新材料 (或填料不同材料) 的注射成型性能、熔体在模腔中的流动和冷却规律、塑件分子取向、应力分布、翘曲变形等物理现象及其起因等。

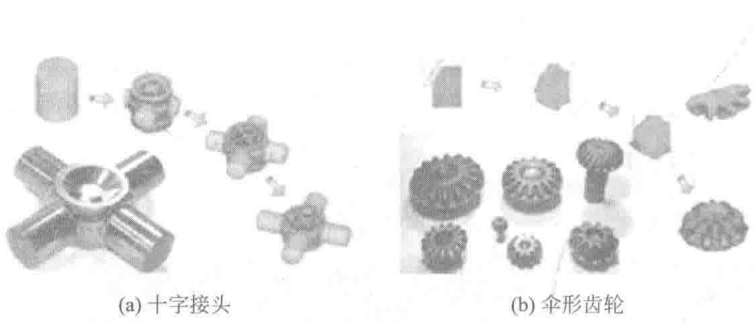


图 1-10 多工步精密模锻成形
(左下方为锻件实物)

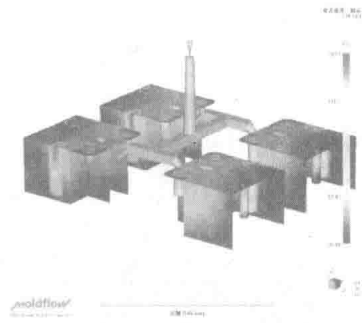


图 1-11 多腔注射的流道平衡分析

图 1-11 是塑料熔体多腔注射时的流道平衡分析。根据模拟分析结果, 可调整和优化各分流道截面尺寸, 以确保熔体能够在同一时间内充满各个模腔。

图 1-12 是某电视机前罩气辅注射成型模拟实例,通过观察分析模拟结果,可确认气道设置是否合理、气辅参数是否满足成形质量要求。

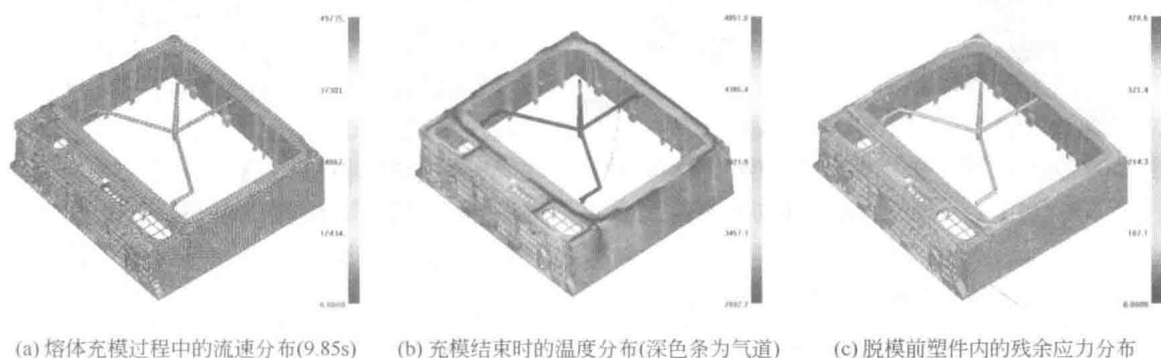


图 1-12 电视机前罩的气辅注射成型

(4) 材料焊接成形

材料焊接成形是指利用焊接工艺方法将预先制备好的单个零部件或毛坯拼接(拼装)成产品或半成品(如用于钣金冲压的拼焊板)的过程。利用 CAE 分析技术,可分析焊接热过程(包括焊接热源的大小与分布、温度变化对热物理性能的影响、焊接熔池中的流体动力与传热、传质等)、焊接冶金过程(包括焊接熔池中的化学反应和气体吸收、焊缝金属的结晶、溶质的再分配和显微偏析、气孔、夹渣和热裂纹的形成、热影响区在焊接热循环作用下发生的相变和组织性能变化,以及氢扩散和冷裂纹等)、焊接应力应变(包括动态应力应变、残余应力与残余变形、拘束度与拘束应力等),以及对焊接结构的完整性进行评定(包括焊接接头的应力分布、焊接构件的断裂力学分析、疲劳裂纹的扩展、残余应力对脆断的影响、焊缝金属和热影响区对焊接构件性能的影响等)。

图 1-13 是利用 CAD/CAE 分析技术对某摩托车轮圈的焊接过程进行仿真的最终结果(部分截图)。目的是评价产品的焊接变形、最小化残余应力,同时了解制件几何结构、材料特性和工艺参数对焊接质量的影响。



图 1-13 摩托车轮圈的焊接分析

图 1-14(a) 是利用焊接方法组装产品的实例,其中,被装配的各个零件均属钣金成形制品(当然,也可以是机械加工、铸造、锻造等制品)。图 1-14(b) 是对图 1-14(a) 实例焊接应力进行 CAE 分析的结果,根据该结果可以预测焊接变形和焊接裂纹等缺陷。

1.2.4 发展趋势

下面列举的发展趋势有的已部分投入实际应用,有的仍在不断完善和深入研发之中。

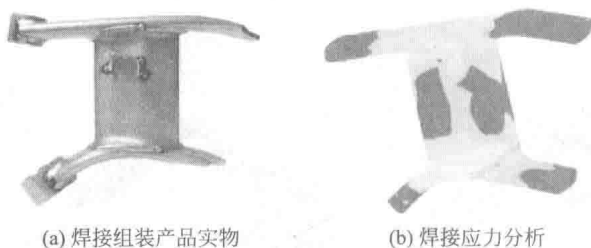


图 1-14 焊接组装 CAE 分析举例

(1) 模拟分析由宏观进入微观

材料成形 CAD/CAE 分析的研究由建立在温度场、速度场、变形场基础上的旨在预测形状、尺寸、轮廓的宏观尺度模拟阶段进入到以预测组织、结构、性能为目的的微观尺度模拟阶段,研究对象涉及结晶、再结晶、重结晶、偏析、扩散、气体析出、相变、组织组成物等微观层次,以及

与微观组织相关的机械、理化等性能。

(2) 加大多物理场的耦合分析

加大多物理场的耦合与集成分析(包括流动/温度、温度/速度/流变、电/磁/温度、温度/应力应变、温度/组织、应力应变/组织、温度/浓度/组织等物理场之间的耦合),以真实模拟复杂的材料成形过程。

(3) 不断拓宽 CAD/CAE 分析在特种成形中的应用

在特种成形领域应用 CAE 分析技术比在基于温度场、流动场、应力/应变场的通用成形领域应用 CAE 分析技术难度大,例如:铸造成型中的连续铸造、半固态铸造和电渣熔铸,锻压成形中的液压胀形、楔横轧和辊锻,焊接成形中的电阻焊、激光焊,塑料成型中的振荡注射、吹塑和热成形,以及金属粉末注射、粉末冶金压制等。可以确信,一旦各特种成形的理论研究与应用开发取得突破性进展,利用 CAD/CAE 分析解决和研究特种成形技术问题的手段将会层出不穷。

(4) 强化基础性研究

材料成形 CAE 分析基础性研究包括成形理论、数学模型、计算方法、应用技术、测试手段、材料特性和物理实验等的研究,这些都是事关 CAD/CAE 分析结果真实性、可靠性、精确性,以及模拟速度、模拟效率的热点研究。

(5) 关注反向模拟技术应用

所谓反向模拟技术,是指从最终产品的几何结构出发,结合成形工序或工步,一步步反推至原始毛坯的演绎过程。反向模拟技术主要用于固体材料塑性成形毛坯的推演,例如:冲压件展开、模锻件预成形。通过反向模拟,可以解决诸如成形材料利用率、毛坯形状优化等实际问题。此外,反向模拟技术还可用于推演不同温度条件下的材料热物理性质(如材料表面的换热系数等)。目前,反向模拟技术在材料的冲压成形、锻造成形和铸造成型过程中均有所体现。

(6) 模拟软件的发展

模拟软件技术面向产品开发、模具设计和成形工艺编制等技术人员,屏蔽过于繁杂的前处理操作(特别是网格划分、接触边界定义和求解参数设置等操作);利用专业向导模块(如锻造开坯、冷挤压、热处理、模面设计、浇注系统设计和冷却水道布局等),简化分析模型的建立过程;加入专家系统等人工智能技术,帮助用户更快更好地关注和解决材料成形中的实质性问题,而不被一些具体的工程分析术语和技能技巧所困扰;增加正交实验、方差分