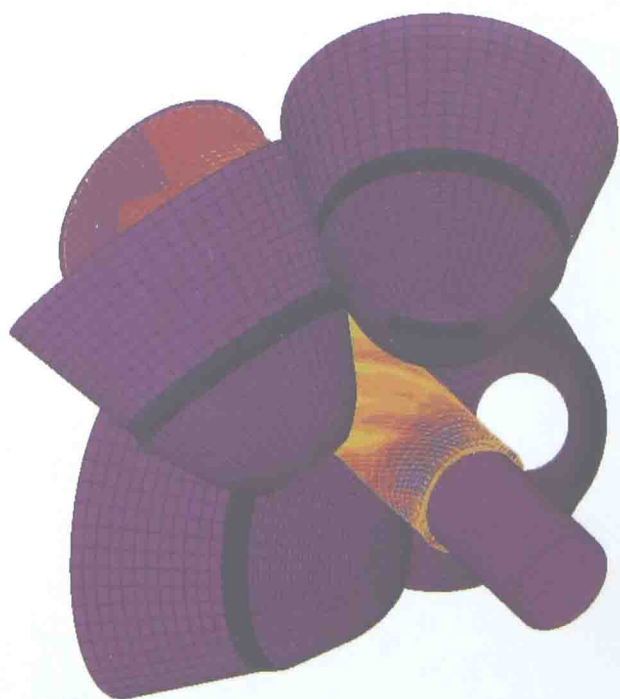


材料加工 先进技术 与 MSC.Marc 实现

张士宏 刘劲松 等编著



随书附光盘一张



国防工业出版社

National Defense Industry Press

材料加工先进技术与 MSC. Marc 实现

张士宏 刘劲松 等编著

国防工业出版社

·北京·

内 容 简 介

本书主要介绍 MSC. Marc 在材料加工工程中的应用及其相关的技术问题,特别是对塑性加工成形过程中的典型应用作了重点讲解。全书以应用为主、理论为辅,既注重 MSC. Marc 基本原理与使用方法,又强调提高实际工程应用分析能力。

本书所有案例皆来自实际工程项目,不仅包括详细的建模过程,还包括具体的模拟结果分析与技术处理。全书共分 18 章,第 1 章介绍了 MSC. Marc 在材料加工中的一些常用技术,第 2 章~第 17 章分别从板材成形、型材成形、管材成形、锻造成形、热处理、水平连铸等方面详细讲解了 MSC. Marc 在材料加工工程中的典型应用案例,并给出了全部操作流程和相应的子程序代码。第 18 章介绍了自动化脚本与 Python 二次开发技术。读者通过对本书的学习,可以掌握有限元法解决材料加工实际工程问题的关键技术,学会应用本专业分析知识分析问题、解决问题,将理论分析与工程实践紧密衔接在一起。本书随书光盘中附带所有案例的模型文件与部分操作视频录像,方便读者学习与参考。

本书可作为材料加工工程专业的本科生与研究生学习有限元的参考书,也可供相关企事业工程技术人员应用,还可作为 MSC. Marc 有限元分析软件的高级培训教程。由于本书内容广泛,不同的读者均可以从中得到收获。对于初学者,可以达到入门的目的;对一些老用户,可以从中学到一些新功能,拓展思路;对于企业工程师,可以提升应用有限元技术分析解决实际工程问题的能力。

图书在版编目(CIP)数据

材料加工先进技术与 MSC. Marc 实现/张士宏等编著.
—北京:国防工业出版社,2015.1
ISBN 978-7-118-09815-0

I. ①材… II. ①张… III. ①工程材料—加工—有限元分析—应用软件 IV. ①TB3-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 257083 号

※

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100048)

北京奥鑫印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 43¼ 字数 1086 千字

2015 年 1 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—3000 册 定价 88.00 元(含光盘)

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)88540777

发行邮购:(010)88540776

发行传真:(010)88540755

发行业务:(010)88540717

前 言

材料加工成形中的各种现象及其规律是十分复杂的,这使得材料加工成形工艺和模具设计缺乏系统、精确的理论分析手段,主要依据工程师长期积累的经验,设计质量难以得到保证。借助于有限元模拟方法,可以获得对于材料加工成形过程规律的认识,用较小的代价、在较短的时间内找到可行的甚至最优的设计方案。有限元模拟对于塑性加工成形工艺是强有力的设计、分析和优化的工具,可以预测成形期间零件形状的变化、坯料的变形规律、最终应变分布、温度场分布、全场应力、应变分布、组织性能变化规律、工艺参数对产品质量和尺寸精度的影响规律以及缺陷形成方式和区域等,并且可以在零件实际生产之前最大限度地优化工艺参数,所有这些对于成功地成形复杂形状的零件并减少成形时间是至关重要的。有限元模拟能够处理各种复杂工程问题,同时它也是进行科学研究的重要工具。有限元模拟分析已成为替代大量实物实验的有限元“虚拟实验”,基于该方法的大量计算分析与典型的验证性实验相结合可以做到高效率 and 低成本。采用有限元技术,可以实现对材料加工成形全过程的参数监控与预测,进行材料的流动变形规律与各种工艺缺陷的变化规律研究,作为工艺参数优化与选择的依据,对实验起到指导和预测的作用,为提高材料加工生产工艺设计、模具设计、设备设计提供理论依据,使工艺设计和生产控制摆脱人工试错法,走向科学化和智能化。

材料加工成形模拟技术经历了几十年的发展,国际上已经出现了一批材料加工成形模拟软件。随着全球竞争的加剧,制造流程仿真对优化制造流程的作用凸显。在国内,尤其是从近几年开始,材料成型与控制工程中的 CAE 应用也开始方兴未艾,并且已经开始成功应用了一批以 MSC. Marc 为代表的通用有限元软件,使用这些软件已经成功地解决了众多该领域的大型工程计算难题,并且取得了一定的经济和社会效益。

MSC. Marc 软件是世界领先的材料成形工艺仿真软件,在我国的航空航天、铁路运输业、石油化工、机械制造、能源、汽车、电子、造船、轻工、地矿、水利等领域逐步得到推广和应用,为各领域产品设计、科学研究做出了一定的贡献。Marc 的集成用户界面设计使得用户(即使是新手)可以快速设置和解决复杂的非线性问题。Marc 功能强大,可以提供通用的非线性有限元分析解决方案,准确模拟产品在静态、动态和多物理场加载工况下的响应。可以根据材料非线性行为和瞬态环境条件进行多种建模,解决复杂的设计等问题。

自 2005 年以来,MSC. Software 在中国开展了“MSC. Software 中国校园行”的系列大学校园技术交流会,进一步促进了 MSC. Software 的推广与应用。新版本的 MSC. Marc 采用了 Windows 操作界面,为使用户特别是新用户更好地掌握和使用 MSC. Marc,出版一本全新的、系统介绍使用方法的、简明实用的书是十分必要的。本书正是为了满足这一需求而编写出版的。

本书所有案例皆来自实际工程项目,不仅包括详细的建模过程,还包括具体的模拟结果分析与技术处理,特别是针对初学者容易困惑的一些细节问题做了讲解,如压边力设置、随动设置、材料库二次开发、子程序的连接设置、界面设计开发等。本书通过各种典型材料加工案例,详细介绍了 MSC. Marc 在材料加工工程中的应用及其相关的技术问题。全书以应用为主、理

论为辅,一方面强调培养 MSC. Marc 有限元软件基本应用能力,另一方面又强调提高应用 MSC. Marc 有限元软件计算结果分析问题、解决问题的能力。

全书由张士宏、刘劲松统稿,梁海成、肖寒、徐勇、林涛、赵天章、岳峰丽、蔡玲、张昕、李艳娟、王芳、叶能永、郭浩、陈帅锋、吴金虎、陈大勇、胡春青、王勇龙、吴国华、冯立军、王学利、孙丹丹、陈火红等分别参加了本书的编写工作。此外,梁海成、肖寒对全书进行了审查,蔡玲对全书进行了编排与校对等工作。读者通过本书的学习,可以掌握有限元法解决实际工程问题的关键技术,学会应用本专业知识分析问题、解决问题,将理论分析与工程实践紧密衔接在一起。

本书既适合作为材料加工工程专业的本科生与研究生学习有限元的参考书,也可供相关企业事业工程技术人员应用,还可作为 MSC. Marc 有限元分析软件的高级培训教程。由于本书内容广泛,不同的读者均可以从中得到收获。对于初学者,可以达到入门的目的;对一些老用户,可以从中学到一些新功能,拓展思路;对于企业工程师,可以提升应用有限元技术分析解决实际工程问题的能力。

本书的编写得到了 MSC 公司的支持与鼓励,特别是北京 MSC 办事处的郭茵女士对本书的编写与出版给予了大力帮助,在此致以由衷的感谢!同时,感谢在本书编写过程中给予作者支持与关心的老师和同事们!

感谢国家自然科学基金(51305188)、沈阳理工大学辽宁省金属材料先进加工技术重点实验室开放基金的支持。感谢中国科学院金属研究所研究生部的支持与鼓励。

本课题组自 2000 年开始使用该软件,解决了大量工程问题,积累了丰富的经验,培养了上百名科技人员和研究生,发表了大量学术论文和学术报告,在国内外建立了一定影响。本书是集成了本课题组的科研人员和博士、硕士研究生及一些同行朋友多年使用 MSC. Marc 软件的一些经验总结,是与多家企业合作解决塑性加工工程问题的一些代表性实例,当然,也仅仅是很多工程问题中的少部分实例。希望我们提供的这些有限实例,能够为企业和学术界的同行提供解决问题的一些思路和经验,同时建立交流讨论的渠道和平台。

由于编者水平有限,书中错误与不足在所难免,敬请广大读者批评指正。

张士宏 刘劲松

2014 年 8 月

于沈阳

学习建议

本书案例均来源于企业实际工程项目,模型复杂,具有一定的难度与深度。对于熟练掌握 MSC. Marc 软件的用户,可以直接选择各章案例练习。对于初学者来说,可以参照以下建议学习。

1. 了解有限元解题的基本过程

1) 建立实际工程问题的计算模型

(1) 通过软件自身建模。MSC. Marc 前处理中包含建模工具,这些建模工具自身功能并不强大,适用于简单建模,模型在进一步分析处理时不容易出错。

(2) 借助其他 CAD 软件建模。当模型结构复杂时,可以采用 CATIA、UG、Pro/E 等软件建立几何模型,然后将建立好的几何模型保存为 IGS、IGES、STL 等格式,导入到 MSC. Marc 之中。由于软件的兼容性不同,通常这些几何模型还需要进行几何修复。

(3) 模型简化。抓住问题的本质特征,排除不必要的细节,利用几何、载荷的对称性简化模型,建立等效模型。如对于模具,通常可以设为刚体,仅取其工作面几何轮廓面或线建立模型就可以。

2) 网格划分

理想的单元网络应该是等边三角形、正方形、等边四面体和立方体。但是对于任意的、复杂的几何形状结构,试图完全用理想的单元去离散和描述是徒劳的。幸运的是,实际情况的要求并不如此苛刻。实际的单元形态只要与这些理想的单元接近即可。

3) 材料属性定义

(1) 材料力学性能。建立准确的材料模型是正确进行有限元模拟分析的关键。如果有限元软件中没有所需的材料库,可以通过单向拉伸试验获得材料的力学性能曲线,也可以通过 Gleeble 热物理模拟实验进行不同温度和不同应变速率下的材料流变应力测试,通过实验获得材料在不同温度、不同应变速率下的应力应变关系。

(2) 材料库二次开发。二次开发的材料库可以是基于 Gleeble 热模拟分析的实验结果。通过二次开发程序可以实现对热模拟实验结果的调用,保证了有限元模拟计算的精度和可靠性。

4) 接触定义

(1) 定义变形接触体与刚体接触体。变形接触体是对接触过程中产生的变形加以考虑的接触物体,它是一组常规有限单元的集合。位于变形体外表面的单元节点,如果在变形过程中可能与其他物体或自身产生接触,这些节点就被处理成可能的接触点。

刚性接触体是由描述刚体轮廓的几何实体组成的。刚性接触体的定义并不需要包括整个刚体外轮廓,则只需定义可能与其他物体产生接触的局部边界,但应注意必须定义足够长的边界,防止与刚性接触体产生接触的变形体节点在运动中滑出刚性接触体边界。

(2) 定义刚体的运动。在变形体与刚体的接触中,变形体的力和位移往往是通过与之相

接触的刚体的运动产生的,一般包括位移、速度与载荷来描述。

5) 边界条件定义

边界条件,在结构力学中也称支承条件,主要包括应力分析边界条件定义、位移边界条件定义、载荷边界条件定义、温度边界条件定义等。

6) 工况定义

按照分析问题的实际工艺过程,制定模拟工况。在各个工况中,根据模拟需要修改相应的模拟参数,如模具与工件之间的接触与分离、计算步长等。

7) 求解(Solution)

确定单元类型,给定约束和载荷,选择求解方法,设定计算结果,明确是否需要调用子程序(二次开发),选取硬件平台,判断是否需要并行计算等。

提交任务并计算。

错误处理。

根据错误提示检查前处理中的各项工作,结合已经计算出来的结果分析错误产生原因。

8) 后处理(Postprocessing)

后处理的目的在于分析计算模型是否合理,提出结论。

用可视化方法(等值线、等值面、色块图)分析计算结果,包括位移、应力、应变、温度等;最大最小值分析;节点加载历史分析;特殊部位分析;动画制作等。

2. 学习软件自带的 User's Guide. pdf 文档

打开计算机,单击开始→所有程序→MSC. Software→Marc 2013. 1. 0 Documentation→Marc User's Guide。打开用户向导手册,重点学习 Section 1: Introduction(文档第 50 页)部分的内容,了解软件界面的基本操作命令。

3. 完成本书一个章节

(1) 首先参照书中案例自己做一遍,进一步了解有限元解题的基本过程。建议结合录像首先学习第 2 章。

(2) 理解各过程用到命令的具体含义,可以参考软件自带帮助,如 training guide. pdf 等。

4. 模仿案例完成一个简单问题

对书中案例模型做进一步简化,独立做一个简单的例子,并调试通过,增加自己的熟练度。

5. 积极交流

利用各种资源,与其他 MSC. Marc 用户进行交流。如参加相关会议活动、加入相关 QQ 讨论群、进入各大论坛交流等。只有不断与他人交流,才能快速进步。

6. 学习有限元理论

多翻看有限元理论方面的书籍,与自己所做的案例进行联系,深入理解有限元的基本思想,掌握有限元软件的具体应用。

目 录

第 1 章 MSC. Marc 在材料加工过程中的一些常用技术	1
1.1 几何模型的导入与修复	1
1.1.1 Marc 2011 功能改进	1
1.1.2 Marc 2013.1 新增功能	2
1.1.3 Marc 2014 新功能	4
1.1.4 偏置的种子点	4
1.2 局部自适应网格细划分	5
1.2.1 自适应网格细划分准则	5
1.2.2 局部自适应网格细划分的数量	7
1.2.3 局部网格自适应实例分析	8
1.3 网格重划分	11
1.3.1 网格重划分器	11
1.3.2 网格重划分准则	12
1.3.3 网格重划分数量	13
1.3.4 网格重划分实例分析	13
1.4 预状态分析	18
1.4.1 预状态分析的基本功能	18
1.4.2 预状态分析应用实例	18
1.5 重启动分析	27
1.5.1 重启动分析的基本步骤	27
1.5.2 重启动分析实例	27
1.6 Model Section 进行多步分析	31
1.6.1 Model Section 功能介绍	31
1.6.2 Model Section 应用案例	32
1.7 Marc 求解器及并行设置	38
1.7.1 Marc 求解器简介	38
1.7.2 Marc 在 Windows 环境下并行环境配置及递交计算流程	39
1.8 本章小结	42
第 2 章 板材拉延成形有限元模拟	43
2.1 板材拉延成形原理	43
2.2 板材拉延成形有限元模型的建立	44
2.2.1 初始设置	44
2.2.2 几何模型	45
2.2.3 表定义	54
2.2.4 几何属性定义	59
2.2.5 材料属性定义	59
2.2.6 接触定义	61
2.2.7 边界条件定义	68
2.2.8 载荷工况定义	71
2.2.9 定义作业参数并提交运行	74
2.3 板材拉延成形模拟结果分析	76
2.3.1 板材拉延成形模拟动态演示	77
2.3.2 板材拉延成形回弹分析	78
2.3.3 厚度分布	79
2.3.4 失稳模拟结果分析	80
2.3.5 动画制作	80
2.4 本章小结	81
第 3 章 封头热冲压成形有限元模拟	82
3.1 封头热冲压成形基本原理	82
3.2 封头热冲压成形有限元模型的建立	83
3.2.1 初始设置	83
3.2.2 几何模型	84
3.2.3 表定义	95
3.2.4 材料属性定义	99
3.2.5 接触定义	101
3.2.6 初始条件定义	108
3.2.7 边界条件定义	109
3.2.8 载荷工况定义	111
3.2.9 定义作业参数并提交运行	113

3.3 封头热冲压成形模拟结果分析	115	5.2.4 材料属性定义	182
3.3.1 封头热冲压成形模拟动态演示	116	5.2.5 接触定义	184
3.3.2 热冲压成形封头等效应力和应变场	116	5.2.6 边界条件定义	191
3.3.3 温度场分布	118	5.2.7 载荷工况定义	194
3.3.4 动画制作	120	5.2.8 定义作业参数并提交运行	197
3.4 本章小结	120	5.3 整体壁板填料滚弯成形模拟结果分析	200
第4章 镁合金型材绕弯成形有限元模拟	121	5.3.1 整体壁板填料滚弯成形应力应变分析	200
4.1 型材绕弯成形原理	121	5.3.2 整体壁板填料滚弯成形回弹分析	206
4.2 型材绕弯成形有限元模型的建立	124	5.3.3 三辊作用力分析	207
4.2.1 初始设置	124	5.3.4 动画制作	208
4.2.2 几何模型	125	5.4 本章小结	208
4.2.3 表定义	135	第6章 四辊行星轧制成形有限元模拟	209
4.2.4 材料属性定义	140	6.1 铜管四辊行星轧制成形原理	209
4.2.5 接触定义	142	6.2 铜管四辊行星轧制成形有限元模型的建立	210
4.2.6 初始条件定义	147	6.2.1 初始设置	210
4.2.7 边界条件定义	147	6.2.2 几何模型	211
4.2.8 载荷工况定义	151	6.2.3 表定义	219
4.3 镁合金型材绕弯成形模拟结果分析	156	6.2.4 材料库的二次开发	221
4.3.1 镁合金型材绕弯成形应力应变分析	156	6.2.5 接触定义	232
4.3.2 镁合金型材绕弯成形回弹分析	159	6.2.6 初始条件定义	243
4.3.3 温度分布	161	6.2.7 边界条件定义	244
4.3.4 动画制作	162	6.2.8 载荷工况定义	245
4.4 本章小结	162	6.2.9 定义作业参数并提交运行	246
第5章 整体壁板填料滚弯成形有限元模拟	163	6.3 四辊行星轧制模拟结果分析	249
5.1 整体壁板填料滚弯成形原理	163	6.3.1 纵断面变形过程	250
5.2 整体壁板填料滚弯成形有限元模型的建立	164	6.3.2 旋轧坯料四边形成效应分析	252
5.2.1 初始设置	164	6.3.3 旋轧成形过程坯料运动轨迹	254
5.2.2 几何模型	165	6.3.4 旋轧成形接触规律	256
5.2.3 表定义	178	6.3.5 流线观测	257
5.2.4 材料属性定义	182	6.3.6 变形区的温度场分析	258
5.2.5 接触定义	184	6.4 本章小结	259
5.2.6 边界条件定义	191	第7章 管材游动芯头拉拔成形有限元模拟	260
5.2.7 载荷工况定义	194	7.1 管材游动芯头拉拔成形原理	260
5.2.8 定义作业参数并提交运行	197		

7.2 管材游动芯头拉拔成形有限元模型的建立	261	8.3.3 内螺纹管成齿分析	331
7.2.1 几何模型	261	8.3.4 动画制作	332
7.2.2 表定义	269	8.4 本章小结	332
7.2.3 几何属性定义	273	第9章 管材绕弯成形有限元分析实例	333
7.2.4 材料属性定义	273	9.1 弯管绕弯成形工艺原理	333
7.2.5 接触定义	278	9.2 弯管绕弯成形有限元模型的建立	334
7.2.6 连接定义	286	9.2.1 初始设置	334
7.2.7 初始条件定义	288	9.2.2 几何模型	335
7.2.8 边界条件定义	290	9.2.3 表定义	344
7.2.9 载荷工况定义	294	9.2.4 几何属性定义	345
7.2.10 定义作业参数并提交运行	296	9.2.5 材料属性定义	346
7.3 管材游动芯头拉拔成形模拟结果分析	298	9.2.6 接触定义	347
7.3.1 管材拉拔成形模拟动态演示	299	9.2.7 边界条件定义	353
7.3.2 管材拉拔成形等效应力场分析	299	9.2.8 载荷工况定义	354
7.3.3 管材拉拔成形温度场分析	301	9.2.9 定义作业参数并提交运行	356
7.3.4 动画制作	303	9.3 铜管绕弯成形模拟结果分析	358
7.3.5 模拟和实验比较	304	9.3.1 铜管绕弯成形模拟动态演示	359
7.4 本章小结	305	9.3.2 铜管绕弯成形分析	359
第8章 内螺纹铜管滚珠旋压成形工艺有限元模拟	306	9.3.3 厚度分布	361
8.1 内螺纹铜管滚珠旋压成形机理	306	9.3.4 动画制作	361
8.2 内螺纹铜管滚珠旋压成形有限元模型的建立	308	9.4 本章小结	362
8.2.1 几何模型建立	308	第10章 薄壁不锈钢管推弯成形有限元模拟	363
8.2.2 材料属性定义	317	10.1 薄壁不锈钢管珠粒填料推弯成形原理	363
8.2.3 接触定义	319	10.2 薄壁不锈钢管珠粒填料推弯成形有限元模型的建立	364
8.2.4 载荷工况定义	325	10.2.1 初始设置	364
8.2.5 定义作业参数并提交运行	326	10.2.2 几何模型	364
8.3 内螺纹铜管滚珠旋压成形模拟结果分析	328	10.2.3 表定义	374
8.3.1 内螺纹铜管滚珠旋压过程模拟动画	329	10.2.4 几何属性定义	376
8.3.2 等效应力分析	330	10.2.5 材料属性定义	377
		10.2.6 接触定义	378
		10.2.7 边界条件定义	384
		10.2.8 工况定义	386

10.2.9	定义作业参数并提交运行	387	12.1.9	定义作业参数并提交运行	461
10.3	薄壁不锈钢管推弯成形模拟结果分析	389	12.2	管件挤压成形后处理结果分析	463
10.3.1	成形管件壁厚变化规律	390	12.2.1	后处理结果打开	463
10.3.2	冲头推力变化	394	12.2.2	管件挤压成形模拟动态演示	463
10.3.3	摩擦系数对弯管内外侧壁厚分布的影响	394	12.2.3	挤压成形模拟结果分析	464
10.4	本章小结	395	12.2.4	工艺参数对管件挤压力的影响	466
第 11 章	管材胀形有限元分析模拟	396	12.2.5	ZK60 镁合金管件热挤压的组织演变规律	467
11.1	胀管工艺原理	396	12.3	动画制作	470
11.2	胀管成形有限元模型的建立	397	12.4	本章小结	470
11.2.1	初始设置	397	第 13 章	皮尔格二辊冷轧管成形有限元模拟	471
11.2.2	几何模型	398	13.1	皮尔格二辊轧制成形原理	471
11.2.3	表定义	414	13.2	皮尔格二辊轧制成形有限元模型的建立	472
11.2.4	几何属性定义	415	13.2.1	初始设置	472
11.2.5	材料属性定义	415	13.2.2	几何模型	472
11.2.6	接触定义	417	13.2.3	表定义	479
11.2.7	边界条件定义	424	13.2.4	材料属性定义	481
11.2.8	载荷工况定义	428	13.2.5	接触定义	482
11.2.9	定义作业参数并提交运行	430	13.2.6	载荷工况定义	490
11.3	铜管胀管成形模拟结果分析	432	13.2.7	定义作业参数并提交运行	491
11.3.1	铜管胀管成形模拟动态演示	432	13.3	皮尔格二辊轧制模拟结果分析	493
11.3.2	铜管的变形特点	433	13.3.1	管材等效塑性应力	493
11.3.3	翅片的变形特点	434	13.3.2	管材等效塑性应变	495
11.3.4	动画制作	436	13.4	本章小结	497
11.4	本章小结	436	第 14 章	镁合金板材异步轧制有限元模拟	498
第 12 章	管材挤压成形有限元模拟	437	14.1	板材异步轧制基本原理	498
12.1	管件挤压成形有限元建模	437	14.2	板材异步轧制有限元模型的建立	499
12.1.1	初始设置	437	14.2.1	初始设置	499
12.1.2	几何模型	438	14.2.2	几何模型	499
12.1.3	表定义	446	14.2.3	材料属性定义	507
12.1.4	材料属性定义	448	14.2.4	接触条件定义	510
12.1.5	接触定义	451			
12.1.6	初始条件定义	457			
12.1.7	网格重新划分定义	458			
12.1.8	载荷工况定义	459			

14.2.5	初始条件定义	517	15.2.8	定义作业参数	568
14.2.6	载荷工况定义	518	15.2.9	提交作业	572
14.2.7	定义作业参数并提交运行	519	15.3	结果分析	572
14.3	镁合金板材异步轧制模拟结果分析	521	15.3.1	温度场	574
14.3.1	板材异步轧制过程金属流 动分析	523	15.3.2	等效应变场	574
14.3.2	板材异步轧制等效应变场 分布	524	15.3.3	流线场	574
14.3.3	板材异步轧制等效应力场 分布	525	15.3.4	组织场	575
14.3.4	板材异步轧制温度场 分布	525	15.4	本章小结	576
14.4	不同工艺参数对板材异步轧 制过程的影响	525	第 16 章	水平连铸过程传热模拟	577
14.4.1	不同轧辊转速比对异步轧 制的影响	525	16.1	铜管水平连铸成形描述	577
14.4.2	摩擦因素对板材异步轧制 的影响	527	16.2	水平连铸铜管有限元模型的 建立	577
14.4.3	坯料温度对板材异步轧制 的影响	530	16.2.1	初始设置	577
14.4.4	轧辊温度对板材异步轧制 的影响	531	16.2.2	几何模型	578
14.4.5	压下率对板材异步轧制的 影响	532	16.2.3	表定义	581
14.5	本章小结	535	16.2.4	几何属性的定义	583
第 15 章	涡轮盘闭模锻造中组织演变 的有限元模拟	536	16.2.5	材料属性的定义	584
15.1	组织演变的有限元计算	536	16.2.6	初始条件的定义	585
15.1.1	组织演变模型	536	16.2.7	边界条件的定义	586
15.1.2	用户子程序二次开发	537	16.2.8	载荷工况的定义	588
15.2	有限元模型的建立	542	16.2.9	定义作业参数并提交 运行	590
15.2.1	初始设置	543	16.3	水平连铸过程热模拟的结果 分析	591
15.2.2	几何模型	543	16.4	本章小结	594
15.2.3	材料模型	556	第 17 章	铜盘管退火过程温度场有限 元模拟	595
15.2.4	接触条件	561	17.1	铜盘管退火工艺过程流程	595
15.2.5	初始条件	566	17.1.1	铜盘管退火工艺概述	595
15.2.6	网格重划分	567	17.1.2	铜盘管退火过程的传热 原理	595
15.2.7	定义工况	567	17.1.3	铜盘管退火过程中的关键 参数	596
			17.2	铜盘管退火温度场有限元模型 的建立	598
			17.2.1	几何模型的建立	598
			17.2.2	材料特性定义	627
			17.2.3	初始条件定义	630

17.2.4	边界条件定义	632	18.1.2	Procedure 文件的生成和 运行	656
17.2.5	载荷工况定义	645	18.1.3	Procedure 文件示例	656
17.2.6	定义作业参数并提交 运行	646	18.2	Python 二次开发	661
17.3	铜盘管退火温度场模拟结果 分析	647	18.2.1	Python 与 MSC. Marc 的交 互作用	661
17.3.1	铜盘管退火温度场云图 ...	647	18.2.2	Python 文件的生成与 运行	662
17.3.2	铜盘管热点与冷点温度 演变历史	650	18.2.3	使用 PyMentat 和 PyPost 库	664
17.3.3	铜盘管径向和轴向温度 分布	651	18.2.4	使用 Python 第三方库扩 展功能和编制 GUI 程序 ...	670
17.4	本章小结	653	18.3	Fortran 二次开发	674
第 18 章	Marc 二次开发	654	18.3.1	Fortran 二次开发基础	674
18.1	Procedure 文件二次开发	655	18.3.2	Fortran 二次示例	677
18.1.1	Procedure 文件	655	18.4	本章小结	679

第 1 章 MSC. Marc 在材料加工过程中的一些常用技术

材料加工过程仿真首先涉及 CAD 模型导入以及网格划分,而加工成形问题从本质上说是一个大应变、大变形的过程,进行有限元分析时,往往会碰到各种各样的问题,如分析的精度与网格数量的平衡、网格畸变、迭代不收敛等;金属成形问题往往又是一个大型的复杂计算问题,单元数量非常多,计算量大;同时,很多情况下金属成形过程是分多次进行的,在分析时也需要进行这样一种多次的分析。那么,网格为什么会畸变?计算量大时如何对结构进行合理的简化?多次成形问题如何在有限元分析中加以实现?这些都是本章所需要讨论的问题。

本章首先介绍了近几年来 Marc/Mentat 在 CAD 模型导入以及网格划分的一些新功能,而后介绍了 Marc 中常用的网格局部自适应的常用准则,随后针对金属成形有限元分析需要面对的网格畸变问题介绍了各类网格重划分的方法以及参数设置,其中包括了近年来新推出的一些网格重划分策略。为了解决计算量过大及多次加工问题,往往需要进行多工步分析,这些涉及的是预状态、重启动功能以及新增加的模型块(Model Section)功能;最后介绍了 Marc 中的各种矩阵求解器以及并行环境的设置。

1.1 几何模型的导入与修复

1.1.1 Marc 2011 功能改进

在 Marc 2011 版本发布前,CAD 模型的导入只限于基本的一般格式,模型直接导入到 Mentat,以 NURBS 几何格式或 STL 表述,Marc 2011 的发布扩展了 CAD 模型的导入功能,支持更多的商用 CAD 软件存储的几何模型导入。

Mentat 2011 在原有的通用模型接口不断进行版本升级的基础上,例如,目前支持的通用模型类型和对应版本号为 ACIS R20、IGES 5.3、STEP AP203 & AP 214、Parasolid V22、VDAFS 2.0、STL。Mentat 2011 进一步提供了原生 CAD 模型的接口功能,其中包括目前通用的一些 CAD 模型接口,如 Catia V5/R20、Catia V4/4.1. x 4.2. x、Pro/Engineering Wildfire 4、SolidWorks 2009、Unigraphics NX7、Inventor 2010、DXF,极大地方便了不同使用者模型转化的需求,大大减少了之前可能由于数据转换而带来的数据信息的丢失和转换时间的投入。另外,还新增了对于导入几何模型的修复功能,可以对小的特征进行删减,避免在分网过程中由于一些不重要的小特征而导致网格模型质量下降。Mentat 2011 支持的各种文件输入界面如图 1-1 所示。

导入 ACIS 模型后,可以选择以小面形式构成曲面,这些小面可以是三角形或四边形,可以用于输入到 Patran 四面体网格划分器来划分体网格(确保曲面是封闭的),也可以使用 mesh-on-mesh 产生曲面网格。导入后的 CAE 模型显示如图 1-2 所示。

Mentat 2011 的自动分网功能能够帮助用户快速地完成网格的划分工作,通过 Mentat 的原生 CAD 模型导入接口导入几何模型后只需单击三次就可以完成分网工作,例如图 1-3 所示的发动机网格划分仅使用了数分钟时间就完成了从模型导入到体网格划分的工作。

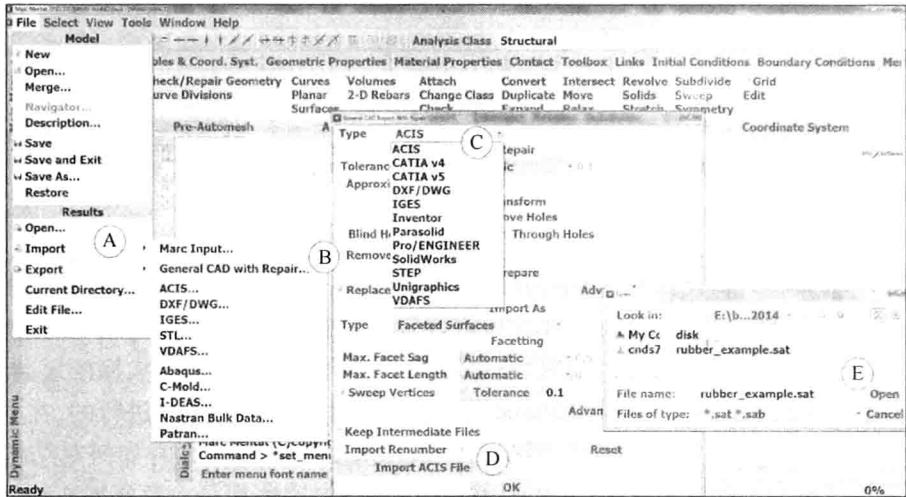


图 1-1 CAD 模型导入界面(Marc Mentat 2011)

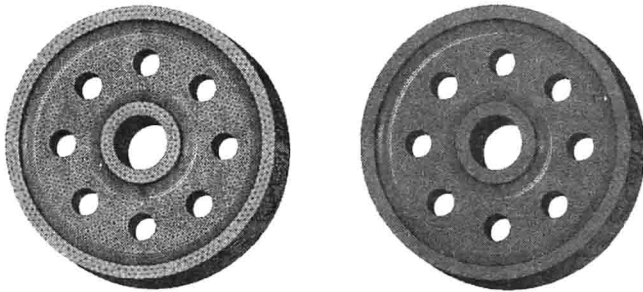


图 1-2 导入后的 CAE 模型显示(Marc Mentat 2011)

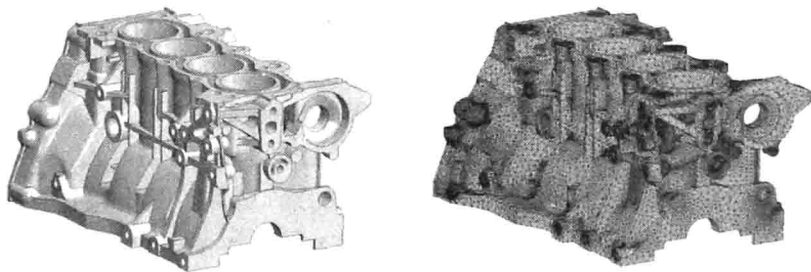


图 1-3 实体分网(Marc 2011)

在 Mentat 2011 中几何曲面或实体表面以 NURBS 曲面或细化的网格表述。但几何不能直接转成实体模型 (ACIS) 描述,这样就限制了用户在 Mentat 中编辑几何。另外,细分的网格面在用于产生四面体实体网格或面网格前经常需要额外的清理工作。

1.1.2 Marc 2013.1 新增功能

Marc 2013.1 版在 Marc 2011 通用和原生模型接口版本不断升级基础上,引入了 Parasolid 几何核心替代以前的 ACIS 几何引擎。它更加强健,MSC 的其他产品如 Patran 和 SimXpert 也

采用相同的技术,便于提供新的分网技术的协同,如图 1-4 所示。具体操作步骤如下:

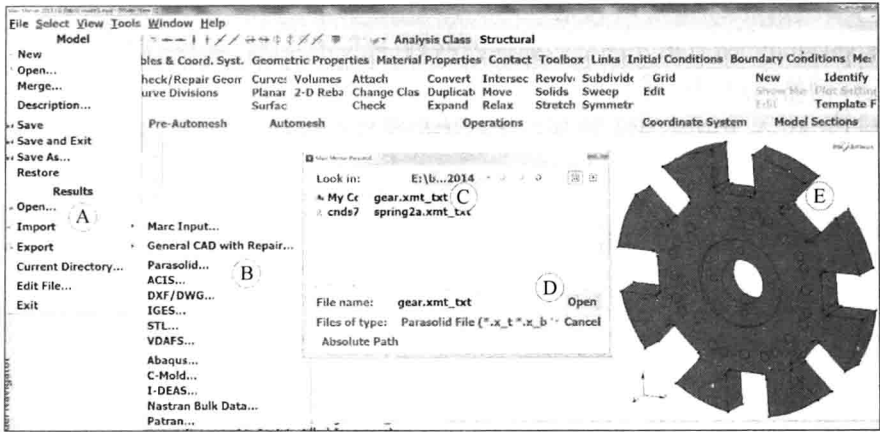


图 1-4 Parasolid 格式几何实体模型直接导入 Mentat(以实体形式存在)

- A:单击 File,选择 Import 进行几何模型导入。
- B:选择 Parasolid 格式。
- C:找到存储几何模型的位置。
- D:单击 Open 按钮,读入几何模型。
- E:导入到 Mentat 中的几何实体模型。

使用 Marc 2013.1 可以完成 Parasolid 格式几何实体建模、导入、布尔运算和直接对几何实体划分网格,替换之前版本基于 ACIS 内核的三维实体几何模型创建、编辑的操作; Marc 2013.1 版仍然支持 ACIS 格式模型文件的导入,并支持打开以 mfd 文件格式存储的 ACIS 模型,打开后模型自动转换为 Parasolid 格式存储。

在 Mentat 2013.1 中直接导入 Parasolid 格式的 CAD 模型后,可以一键分出四面体网格,与 Patran 的四面体自动分网功能类似,在分网的过程中可以选择单元尺寸以及采用低阶还是高阶单元,如图 1-5 所示,具体操作如下:

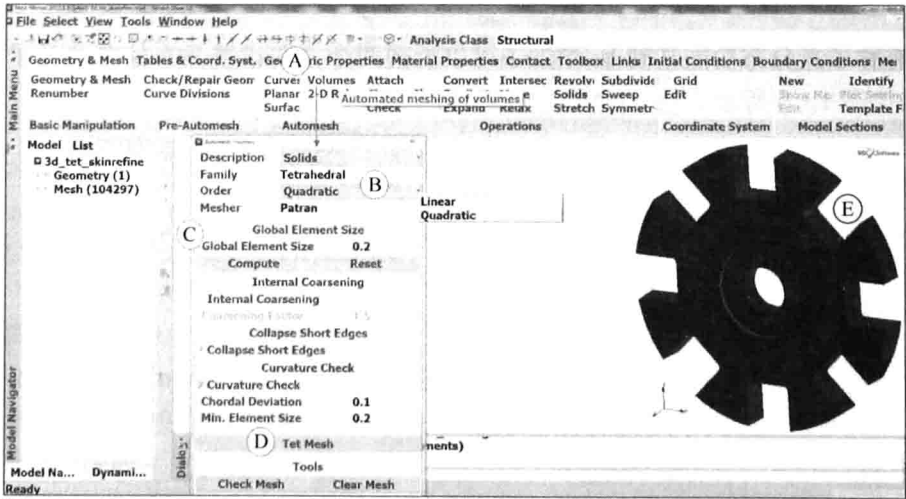


图 1-5 导入 Parasolid 格式几何实体模型后直接进行高阶四面体网格划分

A: 在 Geometry & Mesh 菜单下, 选择 Automesh 标签里面的 Volumes 按钮进行实体网格的划分。

B: 选择 Quadratic 高阶单元进行四面体网格划分。

C: 输入体网格的单元边长 0.2。

D: 单击 Tet Mesh 并选择导入的几何实体进行高阶四面体单元的分网。

E: 划分完成的体网格。

1.1.3 Marc 2014 新功能

Marc 2014 即将发布, 它没有删除 Marc 2013.1 里面的任何功能。Marc 2014 将引入新的 CAD 导入接口工具, 该工具将转化多种格式 CAD 模型到 Parasolid 几何(表 1-1)。相比之前版本这个接口工具功能更为强大, 因为它允许更好地进行几何清理、布尔运算, 导入和处理的速度和质量也更快、更好, 实现了导入和分网技术的一体化。新程序显著地减少了用于产生有限元网格的时间, 特别是对 CAD 装配体。

表 1-1 Marc 2013.1 支持导入的 CAD 软件版本

CAD 软件(或格式)版本	Win32\Win64	Linux	CAD 软件(或格式)版本	Win32\Win64	Linux
通用接口			原生接口		
ACSI R22\ACIS R23	√	√	Catia V5\R22	√	×
IGES 5.3	√	√	Catia V4\4.1x 4.2x	√	√
STEP AP203\AP214	√	√	Pro\Engineering Wildfire 3-5	√	√
Parasolid V25	√	√	SolidWorks 2013	√	×
VADF 2.0	√	√	Unigraphics NX8	√	√
STL	√	√	Inventor 2013	√	×
			DFX (不支持几何清理)	√	√
			DFX (支持几何清理)	√	√

1.1.4 偏置的种子点

在原有种子点分布功能基础上, 增加了可以沿着两个方向设置具有偏置的种子点的分布功能按钮, 如图 1-6 所示。

