

基于特征的锻件分类及特征有限元法

刘玉红, 李付国, 吴诗

(西北工业大学 材料科学与工程学院, 陕西 西安 710072)

摘要: 综合分析锻件后引入特征技术并归纳锻件的形状及变形特点, 提出了锻件特征概念并给出锻件形状特征的一般定义和构成; 采用面向对象技术表示特征, 提出了锻件特征类的概念模式和具体的参数化数据模型; 针对有限元分析中复杂多变的约束条件和载荷状况两个关键性因素的表达, 提出特征类的关联思想。在基于特征的锻件分类基础上, 把锻件变形归纳为“挤”或“压”两种特征元, 提出了采用基于特征的有限元法, 并综合自适应 FEM、并行 FEM、智能型 FEM 共同求解大型复杂锻件的变形模拟问题。

关键词: 特征; 锻件分类; 面向对象技术; 特征有限元法

中图分类号: TG31 文献标识码: A 文章编号: 1005-5053(2002)02-0017-04

在航空航天、汽车、机械行业等的锻造领域内, 锻件的几何形状多为复杂的空间形体, 基于不同的目的, 锻件的分类也有所不同。传统的分类方法有: (1) 按生产锻件的基本工艺分类——自由锻件、胎模锻件、模锻件和特种锻件四大类, 每一大类中又有若干小类; (2) 按锻件的精确程度分类——粗模锻件、普通模锻件、半精锻件和精密锻件四大类; (3) 按锻件的几何形状分类^[1]——简单锻件(其三个方向上的尺寸大致相等)、盘形锻件(三个尺寸中长度和宽度尺寸大致相等, 且大于高度尺寸)和长形锻件(一个主尺寸显著地大于其余二个尺寸)三大类, 每一类中又有若干小类。第三种分类方法是由 Spies 提出的“形状分类法”, 可以用来估算锻件的成本和预算预成形工步的次数, 但这种方法还不是完全定量的。本文在“形状分类法”的基础上作了适当改进, 基于塑性变形的力学基础并有利于锻件变形过程的有限元模拟分析入手, 提出了基于特征的锻件分类法及其有限元模拟。

在通常情况下, 特征^[2~4]对于产品或零件的描述既包括了产品或零件的几何形状, 又包括了产品或零件的工艺成形信息及其所受的约束(包括受载情况和边界约束)。长期以来, 特征技术在工程中主要应用于 CAD/CAPP/CAM 中的特征造型、特征识别及特征提取, 把特征技术与有限元仿真相结合的研究多集中于把特征技术与机械加工

或冲压工艺相结合的研究^[5,6]。本文首次将特征技术引入锻造领域, 对锻件进行分类及其成形过程的有限元模拟。锻件变形过程的有限元数值模拟包括的主要信息有: 产品形状信息、材料信息、载荷条件、边界约束条件、温度条件等。由于锻件的变形属三维体积成形问题, 而目前对金属体积成形数值模拟存在的困难主要是三维网格的自动划分与动态重划, 计算量太大, 引入特征技术后, 将大大改善上述求解过程。

1 基于特征的锻件分类

1.1 锻件特征定义

自 1978 年第一个关于特征的概念被首次提出后, 由于研究目的不同, 对特征的定义亦有所不同。从工程领域内看, 可以认为特征就是携带某些工程信息的几何形体的集合, 它不但包含了对对象的几何形状描述, 而且包括了对对象所受的外加载荷以及边界条件等非几何信息。本文把锻件的特征定义为具有一定工程意义的几何实体, 它包括: 形状特征(用于表达零件的局部几何形状)、材料特征(用于表达零件的材料类型、性能及热处理等信息)、边界特征(用于表达边界条件, 如摩擦、约束等)、载荷特征(用于表达载荷大小、载荷分布、加载路径及加载方式等)。其中形状特征是关键, 是其他特征的载体。

1.2 锻件形状特征分类

全面分析零件的形状特征有助于正确确定锻件结构要素、合理选择锻压工艺及提高锻件变形过程数值模拟的精度与效率。锻件结构特征包

收稿日期: 2001-11-15; 修订日期: 2002-01-28

基金项目: 航空科学基金(98H53068)

作者简介: 刘玉红(1971-), 女, 博士研究生。

括:外周轮廓形状、主轴形状、沿主轴线的横截面尺寸关系、偏离主轴部分的形状和比例、允许的斜度、圆角尺寸及可分模的位置等。为了正确有效地提取锻件形状特征,本文把锻件形状特征定义为:在锻件几何元素(组)中具有一定形状结构,并与特定功能相联系的三维图形元素(组)。因此,不论实际生产中锻件为多么复杂的空间形体,具体到每个实体,均可看成由以下两部分组成:

(1)基本形状特征:锻件的大致轮廓外形,即指锻件除去所有特征的作用后得到的形体,它是其他所有特征的载体(亦称基体或预置形体),如球形、立方形、盘形、长形等。

(2)特定功能特征:指附加在基本形状特征(基体)上,用于完成特定功能的形状特征。有正负之分,正特征为附加体,如凸台、肋等,其内的金

属流动方向为纵向,工艺特征为“挤”;负特征为被减体,如孔、凹腔、凹槽等,其内的金属流动方向为横向,工艺特征为“压”。

以上两种特征的不同组合,就形成了复杂多样的锻件形状,表 1 为锻件的形状特征分类。以盘形件为例,锻件的特征分解如图 1 所示,图 2 为金属流动特征简图。

表 1 锻件的形状特征分类

Table 1 Classification on form feature of forging

Types of feature	Sub-features
Basic form feature	Spherical, cubical, discoid, long-axis ...
Specific function feature	Protrusion, rib, hole, depression, slot ...

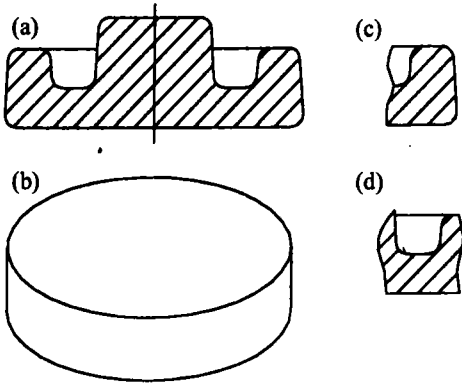


图 1 构成锻件的基体和特征

(a) 盘形锻件; (b) 基体; (c) 凹特征; (d) 凸特征

Fig. 1 The pre-existing shape and features of forging part

(a) discoid forging; (b) primitive; (c) concave; (d) convex

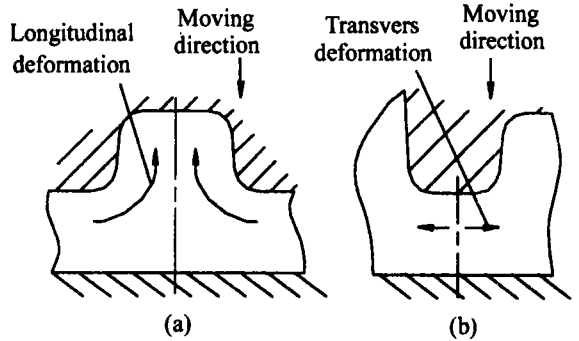


图 2 特征元变形示意图

(a)“挤”特征; (b)“压”特征

Fig. 2 Deformation sketching of feature unite

(a) extrusion; (b) recessing

1.3 锻件特征表达

本文把锻件特征定义为几何信息和非几何信息的综合体,这样将特征进行参数化后,引入面向对象的类表示方法表达特征,清晰地表示特征数据结构,这是因为引入类来表示特征,各个特征独立、封闭地进行表示,不会产生混乱现象,由此可以检查特征是否已被完全表示,否则及时增加变量或函数。用面向对象方法表示锻件特征,有利于产品修改及变形过程的有限元模拟分析,此时产品的修改表现为特征参数的修改,而特征参数的修改直接对应类中某个变量数值的改变,这在程序上实现起来很方便。因此,本文提出面向对象的锻件特征表达概念模式:

```
Class 特征名 { Private:
    形状特征;
```

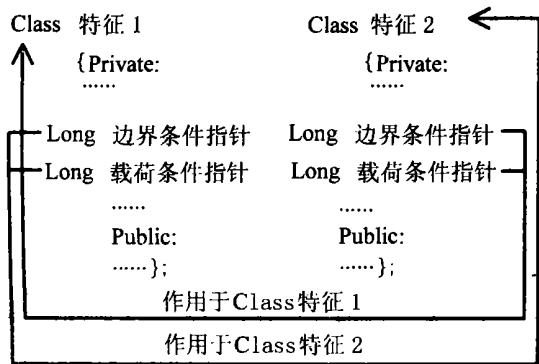
```
边界条件;
荷载条件;
温度条件;
材料特征(材料性能、技术要求、
热处理等);
```

Public:

```
几何信息操作;
边界条件确定;
荷载条件确定;
温度条件确定;
材料特征确定;};
```

一个完整的特征表达包括两个方面:几何信息表示和非几何信息表示。关于形状特征的几何信息在面向对象的类中用一组私有变量来反映,而非几何信息(尤其是边界特征和荷载特征)的表

示不是靠几个变量就能表达清楚,采用特征类关联的思想研究边界特征和载荷特征在类结构中的表示方法,有利于特征的有限元分析。众所周知,锻件在实际变形过程中,边界和载荷条件是有限元分析中的关键因素,而这两个条件又是复杂多变的,因此,对它们的表示就视具体情况而变,不能局限于某单一的表达方式。由于特征体之间的作用具有相互性,故边界条件和载荷条件的表示必须是两个特征体之间相互发生的作用或联系,于是,边界条件和受载情况就不再以具体的边界限制、力的大小、作用范围等明确的形式直接表示出来,而以特征类之间的关联形式出现。如特征 1 与特征 2 的相互作用表示为:



由上例知,边界条件和载荷条件在特征 1 和特征 2 的类结构中并没有直接表示出来,而是通过关联指针来推导特征 1 和特征 2 的边界及载荷条件。就这种表示原理来说,边界与载荷条件的表示是间接的。如果外载及边界条件已很明确,则可将它们直接描述在特征的类结构中。

2 基于特征的有限元法

随着计算机硬件技术的发展和有限元分析软件的逐渐改进,有限元方法(FEM)的分析功能和效率日益提高,在为解决锻造领域问题的数字建模、分析、设计、仿真等各方面都发挥着非常重要的作用。从总体上讲,FEM 的研究需考虑以下几个方面:算法的效率、计算精度、运算速度及对工程的适用性等。随着对有限元法研究的深入与广泛,特别是工程实际应用的深入,它所处理的问题日益复杂,处理的数据流也大幅度增加,最突出的是问题的复杂性和经费、时间以及计算能力有限之间的矛盾。为了解决这一矛盾,计算机内存容量和处理速度也有了迅速提高,但仍不能满足大规模科学计算和大型复杂工程问题对处理速

度的要求。因此,为了解决对大型复杂锻件进行有限元数值模拟时存在的这一矛盾,把锻件按特征进行分类,提出了基于特征的有限元法(Feature-based FEM)。这种方法的基本思想是把复杂锻件分解成若干个基本特征(特征元),对每个特征元进行有限元数值模拟,特征元之间的关系可通过定义特征类之间的关联方式来确定。这样,就把一个费时、耗力的复杂模拟简单化了,提高了每个特征元模拟分析的精度、效率及运算速度。

在实际锻造变形过程中,任何复杂锻件不论经过何种工艺加工,经特征分解后,其变形最终归结为两种基本的特征元,即属“挤”或“压”的工艺特征(图 2)。由此,进行数值模拟时,若属“挤”的特征,则按“挤”的塑性变形模式进行分析模拟,属“压”的特征,则按“压(墩粗)”的塑性变形模式去模拟。对每一变形特征进行数值模拟,从而形成了特征有限元法。用这种方法对锻件进行三维数值仿真,把各特征元分别进行模拟,可有效地降低求解规模,提高运算速度,减少计算工作量,从而使大型复杂锻件的有限元分析更加易于实现。

再者,基于特征的有限元思想可与其他一些先进的有限元计算方法^[7,8]相结合,如对每个特征元进行有限元数值模拟分析时,可采用自适应 FEM 法;各个特征元的 FEM 计算可在并行结构下进行;最后与专家系统相结合,形成智能型有限元法,使复杂锻件变形的有限元数值模拟高效、精确、自动化。

本文对大型复杂锻件的有限元模拟实际上是在特征基础上的一种综合思想,因为上述各新型有限元算法各有其独特的优势,只有取其所长,才能更有效地解决实际问题。自适应有限元法是一种能自动调整算法以改进求解过程的数值算法,由计算机根据得到的误差信息决定解是否有足够的精度,若误差过大,计算机将进一步自动进行满足精度要求的网格改进,自适应 FEM 有效地解决了离散模型的建立、方程的求解及误差估计等问题,对变几何问题的分析有其独特优势,可提高有限元结果的可靠性。并行算法的实施涉及从单元级到控制方程求解的全过程,可使 FEM 的计算速度大幅度提高,这对非常耗时的大型复杂结构分析很重要。由于特征有限元具有“特征元”的特性,使所求解问题的总体自由度及求解规模大幅降低,大量节省了计算工作量,也有利于大型复杂结构的分析。智能型有限元法具有人工智

能的性质,它不仅具有一般专家系统的功能,还具有自我完善、学习和归纳等功能。因此,这种方法适于复杂工程问题。智能型 FEM 专家系统为 FEM 解决各类工程实际问题提供如下支持:结构的物理模型化和有限元建模、数值模型求解方法和分析软件的选择决策、有限元求解结果的解释评价及模型改进决策等。

3 结 论

锻件特征的表达方法将零件的几何形状信息、非几何信息与有限元模拟直接联系起来。

(1) 引入特征技术对锻件进行分类后,每一具体零件的形状均可认为由基本形状特征和特定功能特征组合构成。

(2) 采用面向对象技术表示特征,提出了锻件特征类的概念模式和具体的参数化数据模型及特征类的关联思想,间接地在特征类结构中表示了非几何特征,为有限元分析建模自动化打下基础。

(3) 基于特征的锻件分类有利于把特征 FEM、自适应 FEM、并行 FEM 及智能型 FEM 综合起来共同求解大型复杂锻件的变形模拟问题,

从而可大幅度提高 FEM 分析的效率、精度及运算速度。

参考文献:

- [1] 阿尔坦 T. 现代锻造: 设备、材料和工艺[M]. 陆索译. 北京: 国防工业出版社, 1982.
- [2] 祝国旺, 孙健, 周济, 等. 特征技术研究综述[J]. 中国机械工程, 1995, 6(2): 7- 10.
- [3] SHAH J J. Assessment of features technology[J]. Computer Aided Design, 1991, 23(5): 331- 343.
- [4] WONG T N, LEUNG C B. Feature conversion between neutral features and application features[J]. Computers Ind Engng, 1995, 29(1- 4): 625- 629.
- [5] 虞春, 周雄辉, 张永清. 基于特征的有限元网格划分研究[J]. 机械科学与技术, 1991, 18(2): 210- 212.
- [6] UNRUH VANCE, ANDERSON DAVID C. Feature-based modeling for automatic mesh generation[J]. Engineering with Computers, 1992(8): 1- 12.
- [7] 郭书祥. 自适应有限元方法及其工程应用[J]. 力学进展, 1997, 27(4): 479- 488.
- [8] 郭书祥, 冯立富. 实用有限元计算方法的若干进展[J]. 机械强度, 2000, 22(3): 194- 196.

Feature-based classification for forging and feature-based numerical simulation

LIU Y u-hong, LI F u-guo, WU Shi-chun

(College of Materials Science and Engineering, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China)

Abstract: Based on analyzing the form and deforming characters of forging parts, the definitions and construction of forging feature and its form feature are presented, and a feature-based classification for forging is developed. The concept model and parameterized data model of the feature class are proposed by introducing object-oriented technology. The method of expressing boundary restriction conditions and load conditions, which are complicated and the key factors in FEM simulation, in the feature class construction is discussed and the relation concept of feature classed is presented. Based on the feature-based classification for forging, we reduce two types of the parts deforming, which possess the characters of "extrusion" or "upsetting", so that feature-based finite element method (FFEM) is presented. In this paper, we develop the idea of integrating FFEM with adaptive FEM, concurrent FEM and knowledge-based FEM to simulate the deforming of large complicated forging parts.

Key words: feature; classification for forging; object-oriented technology; feature-based finite element method