

# 虚拟制造环境下焊接结构有限元 分析体系的研究

高嘉爽,方洪渊,杨建国

(哈尔滨工业大学 现代焊接生产技术国家重点实验室,黑龙江 哈尔滨 150001)

**摘要:**介绍了将焊接有限元方法引入虚拟制造环境的新思路。将焊接过程的有限元分析集成到虚拟制造环境中,支持产品从机械加工到焊接成型全过程的设计,对需要进行焊接加工的产品实现虚拟设计过程,在实际焊接之前,设计焊接路径,规划焊接顺序,有效预测焊接应力场、温度场,焊件的变形情况,完善虚拟制造内涵,并指导实际生产。

**关键词:**虚拟制造;焊接;有限元分析

**中图分类号:**TG409 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-2303(2008)03-0034-04

## Research on the finite element analysis of welding structure under virtual manufacturing environment

GAO Jia-shuang, FANG Hong-yuan, YANG Jian-guo

(State Key Laboratory of Advanced Welding Production Technology, Harbin 150001, China)

**Abstract:** The finite element method for welding processing phases is introduced to the virtual manufacturing environment in this paper. The method supports the design of total product manufacturing process from machining to welding, realizes the products needed to weld of virtual design, including to design welding paths, to program welding sequence, to forecast effectively the cases, such as welding stress field, temperature field, welding distortion, so to improve the virtual manufacturing, and to direct the real manufacturing.

**Key words:** VM; welding; finite element analysis

### 1 研究目的及意义

虚拟制造技术是一门新兴的先进制造技术,它是以仿真技术、信息技术和虚拟现实技术为支撑,对设计、制造等生产过程进行建模,在计算机上进行产品的“制造”,从而检验产品的功能、使用性能和可制造性。

虚拟制造技术 VM 分为以生产为中心 VM、以控制为中心 VM 和以设计为中心 VM。以生产为中心的 VM 虚拟制造系统主要用于工厂的作业计划制定和车间布局仿真;以控制为中心的 VM 系统研究集中于生产过程的优化及控制模型;以设计为中心的 VM 为产品设计人员在设计阶段提供产品信息,

优化产品和工艺设计。其核心思想是:将制造信息引入设计过程,利用仿真优化产品设计,从而在设计阶段就可以对零件甚至整机进行可制造性分析,包括加工过程的工艺分析、铸造过程的热力学分析、运动部件的运动学分析和动力学分析等,甚至包括加工时间、加工费用、加工精度分析等。它主要是解决“设计出来的产品是什么样”的问题<sup>[1]</sup>。

虚拟制造技术在国内属于刚起步阶段,目前大部分以设计为中心的 VM 研究集中于机床加工产品,如关键部件的毛坯切削、刀具干涉等问题。清华大学自动化系开展了基于虚拟制造技术的剑杆织布机的产品开发,首先由三维造型软件 CAD 完成凸轮轴以及所有的引纬、打纬机构中的零件造型,生成零件三维实体模型;由 ADAMS 读入这些零件实体模型,利用 ADAMS 多体动力学仿真功能,定义相应的

收稿日期:2007-11-23;修回日期:2008-02-15

作者简介:高嘉爽(1981—),女,黑龙江望奎人,在读博士,主要从事虚拟焊接开发与有限元模拟的研究。



运动副约束和驱动约束,建立虚拟样机,再由 ADAMS 内核解算系统运动学和动力学方程,对交接纬机构的配合关系进行仿真设计,得到剑杆织机引纬和打纬机构的运动学和动力学特性,仿真输出与设计目标进行比较,返回 CAD 调整相关部件结构参数<sup>[1]</sup>。南京工业大学采用虚拟制造技术研发了 VE 型分配泵,该机构首先进行产品的虚拟设计,其后进行运动机构的运动学分析、动力学分析,将获得结果输入到有限元分析与结构优化,然后进行了产品的虚拟装配,并且进行了关键件的虚拟机床加工分析<sup>[2]</sup>;刘检华,宁汝新,张旭等人则提出针对虚拟制造领域内装配工艺的规划,此规划方法是面向现场的半沉浸式装配规划<sup>[3]</sup>;大连轻工业学院采用将虚拟制造的技术应用于分度凸轮的研发,在虚拟加工的环节主要研究了 NC 代码翻译模块、零件的毛坯准备模块、加工机床配置模块、材料切除仿真模块

等<sup>[4]</sup>。

而实际生产过程中,很多零部件需要焊接成形,焊接加工也是产品加工过程中重要环节,焊缝的几何尺寸、力学性能等是产品质量评定的重要指标。随着焊接技术的不断提高,焊接自动化程度也越来越高,这也为在计算机上实现焊接过程的模拟提出了新的要求,所以在虚拟制造环境下对焊接过程进行分析是非常必要的。

## 2 系统分析思路

整个虚拟制造环境下焊接结构有限元分析的体系如图 1 所示。考虑到虚拟制造系统按照其研究内容的不同可以分为:以生产为中心、以制造为中心和以设计为中心。结合本研究特点,侧重于焊接结构的设计,所以研究的重点是放在以设计为中心的虚拟制造方向。具体研究思路如下:

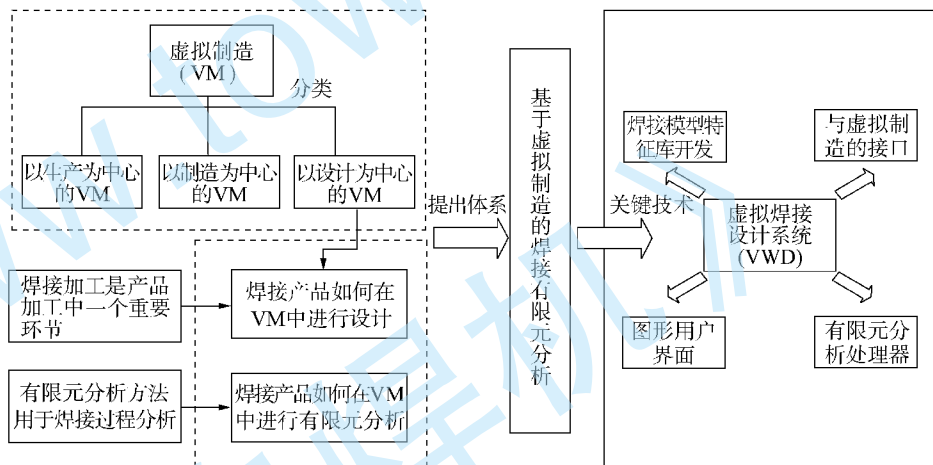


图 1 虚拟制造环境下焊接结构有限元分析思路

(1)在一个产品的生产过程中,要经过许多的加工过程,包括机床加工、材料成型(也就是锻压加工)、塑性加工、焊接加工等。虚拟制造强调的是一个产品完整的开发周期,而焊接加工是产品加工中的一个重要环节,所以有必要考虑焊接产品在 VM 环境中如何进行设计、优化、生产。在虚拟环境中焊接过程的设计包括确定几何尺寸、焊接方法的选择、焊接参数的制定、焊接过程的工况条件等,只有确定了这些条件,才能进行焊接过程分析。

(2)在未焊接之前,所有条件的确定都是根据经验或者公式估计出来的,而在实际生产中则需要的是合理有效的参数。为了提高焊接质量、缩短产品的开发时间,提高企业的效益,有必要定量分析各个参数会产生什么样的焊接质量,而有限元分析方法

是一种很好的数值计算方法,能够进行有效准确的非线性分析,预测不同参数条件下的焊接质量。

(3)商业上有许多成功应用的有限元分析软件,可以借助于这些软件对焊接过程进行数值模拟。结合目前研究热点的虚拟制造技术,既要考虑到连续加工中其他加工过程的影响,又要兼顾焊接过程自身特点,提出了一个在虚拟制造环境下对焊接有限元分析的体系。区别于一般的有限元分析过程,该体系要考虑产品整个生产周期中除了焊接加工的所有加工过程,而传统的分析过程只是单独针对焊接过程,输入焊接相关参数即可。

(4)对于该体系的深入研究需要考虑的方面有:如何与虚拟制造的接口、焊接特征库的开发、图形用户界面及有限元分析处理器。

a. 与虚拟制造环境的接口也就是如何实现与 VM 的集成,即如何与产品的其他分析如:动力学分析、运动学分析等相互沟通;如何实现数据共享;分析结果在各个过程中如何不断反馈。

b. 传统的分析软件只接受单纯的几何信息,而随着计算机辅助设计等相关技术的蓬勃发展,包含特征信息的特征造型开始出现,采用这种方法可以将加工过程以更加面向操作者的角度呈现出来。对于焊接过程来说,特征化焊接接头是传统的几何模型转化为可以方便选择的接头模型库,能够大大减少焊接建模前的处理时间,提高接头设计工作的效率,更好地利用 Marc 的求解器功能。

c. 有限元软件对所需的模型网格要求严格,而且焊接过程是大变形、高度非线性的热力耦合过程,所以网格质量的好坏直接影响有限元求解器的运算情况,问题严重时,求解器甚至不能工作。针对这些问题,研究针对焊接问题的网格方法,以探讨更高质量的有限元分析,更好地利用有限元求解器。

d. 图形用户界面的好坏直接关系到软件对客户友好程度。目前的有限元分析软件都是覆盖了各种应用领域,功能强大,这也直接导致界面的复

杂繁琐,而且有限元软件基本上都是英文界面,加之对有限元知识的匮乏,会影响非专业人员对软件的应用,简单的焊接数值模拟也有困难。针对这种情况,结合课题特点,重新修改有限元软件的菜单文件,使一般的人员就能操作,可以有效提高软件利用率,普及焊接数值预测在工厂车间中的应用。

### 3 VM 下焊接结构有限元分析体系的提出

基于虚拟制造环境的焊接有限元分析系统如图 2 所示。由图可知,系统包括焊接参数输入模块 1、有限元前置处理模块 2、有限元后置处理模块 3、辅助分析模块 4、有限元分析器 5、焊接接头库 6、焊接质量评价 7、装配性分析 8、动力学分析 9、运动学分析 10、CAD 几何造型 11、虚拟预装配分析 12、结果数据库 13。

根据实际产品的零部件,在虚拟预装配中建立产品零件的三维造型图。将该三维造型图通过软件中的格式转化器转化为 \*.wrl 格式文件,该文件为几何造型默认的文件类型。此时,可以在虚拟现实环境中观看产品未焊接之前的零件模型,并且在其中

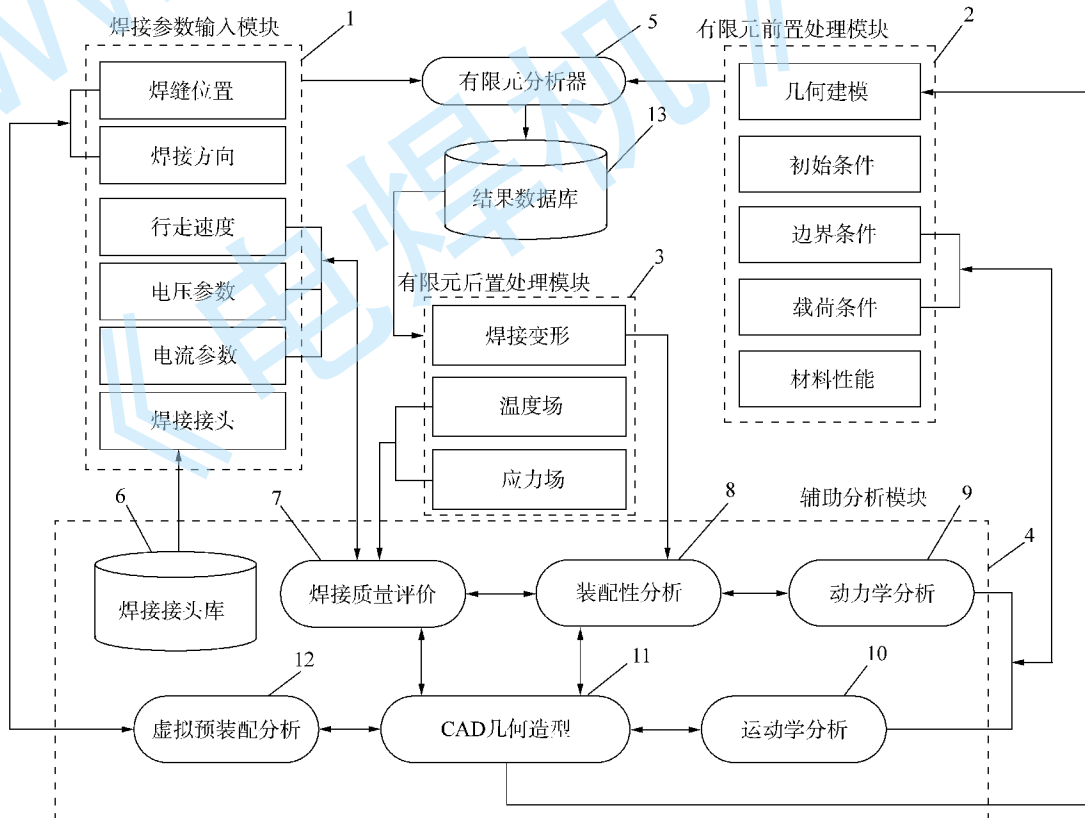


图 2 VM 下焊接结构有限元分析体系结构

专题讨论——第十二次全国焊接学术会议论文

中修改模型,通过添加一些必要的节点,为模型定义所需要的焊接预装配路径,包括焊接路径和焊接方向参数。

焊接参数输入模块中的焊接路径与焊接方向要输入到焊接分析器中,并且与虚拟预装配环境进行通信。通信过程如图3所示,其中包括接触传感器、时间传感器、脚本节点、方位插补器或位置插补器、前处理模块和焊接结构模型。在虚拟预装配环境中,引入接触传感器节点、时间传感器节点,接触传感器节点包括接触时间参数,感知用户点击焊接模型的时间,并将此事件传递给时间传感器,时间传感器中域值改变时间传递给方位插补器或位置插补器,方位插补器或位置插补器节点可以设定待焊件的行走路径,设定好之后,传递给位移节点,此时,打开预装配浏览器,通过简单的点击操作,即可观察到焊接预装配过程。接触传感器将接触时间这一事件传递给脚本中输入事件参数,脚本通过预先定义的Java脚本代码,处理事件,即处理焊接模型预装配的路径,之后,将输出事件传递给 Marc 前处理模块 Mentat,写入 Proc 文件,完成与有限元处理器的通信过程。

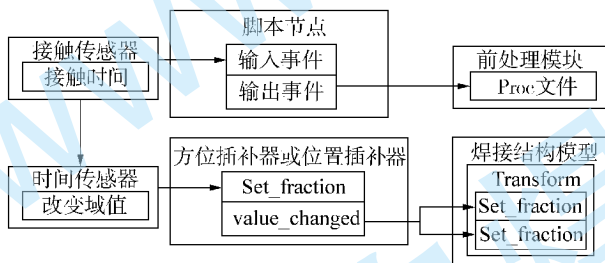


图3 VRML与有限元前处理的通讯实现框图

在质量评价模块中制定常见的焊接工艺规范,根据实际情况参考相关经验,确定焊接所需的工艺规范,如电压参数、电流参数、焊枪行走速度等,这些参数通过有限元软件的前处理用户图形界面输入。有限元处理器所需的焊接接头模型从焊接接头库中直接调用。至此,有限元处理器中所需参数分别确定,开始有限元分析。

前置处理模块中包括几何模型、初始条件、边界条件、载荷条件和材料性能参数。参考虚拟预装配中的几何造型,在有限元分析器的前处理界面中对模型进行适当修改,确定问题的几何造型;动力学分析、运动学分析中对关键焊接部位进行分析,获得结果作为前置处理模块的边界或者载荷条件输入;输入所需材料的性能。

有限元分析器完成焊接有限元分析,将其结果存放于结果数据库中。在有限元后处理模块中打开结果数据,可以了解到焊接的变形情况,焊接时温度场、应力场的变化,数据库的内容可作为后续分析评价的依据。将焊接变形数据应用于装配性分析,得到焊接件与其他部件的装配性评价结果,若焊接变形大,装配时会引起干涉,此种情况下,辅助分析模块中其他分析模块受到影响,需要修改参数,具体措施如下:在虚拟预装配中调整焊缝位置,调用接头模型库中其他形式的接头,调节运动学、动力学中关键部件的作用力等。结果数据中的温度场、应力场用以指导焊接质量评价,如温度或者应力出现异常,或者不利于焊接过程的进行,做出评价,根据焊接效果,修改前处理和焊接参数模块中的部分参数,如电压参数、电流参数等,至此,有限元分析器重新计算,实现各参数修改过程的不断反馈,提高焊接质量。

## 4 结论

该项研究提供一个集成环境,结合虚拟制造技术,进行有关焊接加工的分析。利用虚拟制造中用户感知并沉浸于环境的虚拟现实技术,使传统的有限元分析过程变得直观、易懂,可以让非专业人员方便地进行抽象的有限元分析;利用虚拟制造中产品数据管理的理念,使焊接分析结果与其他分析结果结合起来,达到产品全过程数据交换、分析结果交互的虚拟制造效果,即在未进行产品物理生产之前,对包括焊接在内的加工过程在计算机中得到仿真与分析,在构思阶段就及时地将设计评价反馈给设计工程师,从而设计出更为合理的工艺过程;利用开发语言,结合焊接过程的特点,开发出常用的接头库模型、几何模型、材料性能模型等,使传统的参数设定操作变为直观的用户选择操作,方便与简化了有限元分析过程。

## 参考文献:

- [1] 肖田元,张林鎰,赵银燕.基于虚拟制造技术加速产品自主创新[J].科技导报,2007,25(4):5-14.
- [2] 姜涛,殷晨波,王东方,等.虚拟制造环境下VE型分配泵的研发[J].计算机仿真,2005,22(8):173-259.
- [3] 刘检华,宁汝新,张旭,等.一种面向生产现场的半沉浸工艺规划方法:中国,200610081500.8[P].
- [4] 陶学恒,肖正扬.分度凸轮机构装置的虚拟制造技术与开发[J].机械科学与技术,2002,21(6):947-949.

