

焊接仿真技术应用与未来发展

Application and Future of Welding Simulation Technology

ESI-ATE 控股有限公司 焦立新



焦立新

ESI-ATE控股有限公司市场部经理, 1999年北京航空航天大学毕业后即进入CAE行业, 先后从事过技术、销售工作, 现主要从事市场和渠道工作。

焊接是一种历史悠久的制造工艺,同时也是应用最广泛的材料连接方式之一。我国是钢铁产销大国,同样也是焊接应用大国。当前的焊接应用中还存在很多落后的工艺方式,将现代焊接数值仿真技术应用与传统的焊接工艺,利用先进的计算机数值模拟技术改造传统的焊接工艺,对加速我国焊接信息化与工业化的进程有着非常重要的意义。

焊接模拟技术现状

焊接数值模拟技术的发展是随

焊接数值模拟技术的发展是随着焊接实践经验的积累,有限元数值模拟技术、计算机技术等的发展而逐步开始的。焊接工艺的仿真,主要是针对焊接温度场、残余应力、变形等几个方面,旨在改善焊接部件的制造质量,提高产品服役性能,优化焊接顺序等工艺过程。

随着焊接实践经验的积累,有限元数值模拟技术、计算机技术等的发展而逐步开始的。焊接工艺的仿真,主要是针对焊接温度场、残余应力、变形等几个方面,旨在改善焊接部件的制造质量,提高产品服役性能,优化焊接顺序等工艺过程。传统焊接质量的好坏非常依赖于焊接工人的经验,而焊接数值模拟技术就是利用数值模拟方法找到优化的焊接工艺参数,例如焊接材料、温控条件、夹具条件、焊接顺序等。

目前,焊接领域数值模拟的对象大致有以下几个方面:

(1)焊接温度场的数值模拟。其中包括焊接传热过程、熔池形成和演变、电弧物理现象等。

(2)焊接金属学和物理过程的模拟。包括熔化、凝固、组织变化、成分变化、晶粒的长大、氢扩散等。

(3)焊接应力与变形的数值模拟。包括焊接过程中

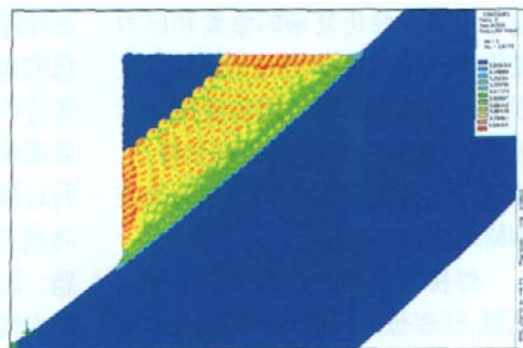
应力、应变的变化和残余应力、残余应变等。

(4)焊接接头的力学行为和性能的数值模拟。包括断裂、疲劳、力学不均匀性、几何不均匀性及组织、结构、力学性能等。

(5)焊缝质量评估的数值模拟。包括裂缝、气孔等各种缺陷的评估及预测。

(6)具体焊接工艺的数值模拟。例如电子束焊接、激光焊接、离子弧焊接、电阻焊等。

常用的焊接数值模拟方法有:差分法、有限元法和蒙特卡洛法。经过多年的发展,有限元数值模拟技术



多道焊接马氏体分布

已经成为焊接数值仿真的主流方法,因为焊接最为关心的是变形和残余应力的控制,而有限元方法在这方面有着明显的优势。

目前焊接仿真软件有两类。一类是通用结构有限元软件,例如MARC, ABAQUS, ANSYS等,主要是考虑焊接的热物理过程,进行热-结构耦合分析,得到变形和残余应力结果。对于焊接研究者来说,需要控制和定义的内容很多,因此需对通用软件有很深的应用功底和较强的专业知识才能更好地把握结果的精度和意义;另一类就是焊接专用有限元软件,例如SYSWELD。专业焊接软件的特点是针对性更强,专门设有针对焊接工艺的界面和模型,比较方便定义焊接路径和热源模型,并且结果精度会更高一些,对于焊接研究者来说,比较容易学习和使用。

总之,这些软件大都可以进行二维和三维的电、磁、热、力等各方面线性和非线性的有限元分析,有较强的模型处理和网格划分能力,并且具有比较直观而强大的后处理功能。因



船舶工业中的焊接装配

而,焊接工作者可以充分利用上述软件而无需自己从头编制模拟软件,必要时加上二次开发,即可得到需要的结果,这就明显地加速了焊接模拟技术发展的进程。

焊接工艺数值仿真涉及的学科

对工业部门来说,焊接工程可以分为4个主要的应用学科:变形工

程、焊接质量工程、应力工程和温度控制工程。

(1) 变形工程。

主要是控制并使变形最小。通过优化装配工艺,降低制造成本,降低缝隙闭合力,减小夹具力的偏差。

(2) 焊接质量工程。

主要是提高焊接质量,优化服役特性。主要通过下面两个方面来进行控制:

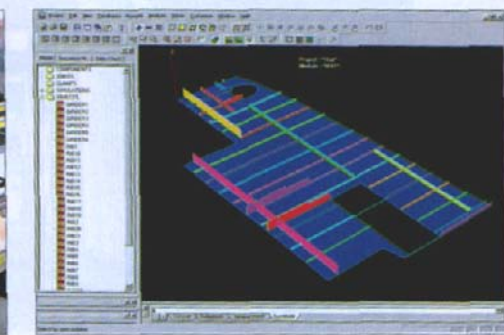
- 控制冷却速率、微观组织和硬度对整体材料和结构特性的影响;
- 控制氢的扩散。

例如,对再结晶钢,需要控制最大和最小冷却速率。过高的冷却速率会导致过多的马氏体,过低的冷却速率又将导致晶粒粗糙,过高的硬度可能导致裂纹和服役失效。

(3) 应力工程。

主要是两个方面的工作:

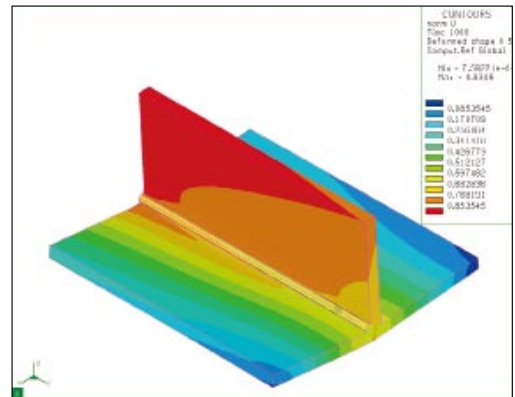
- 控制围绕连接处局部的残余应力;
- 控制所设计的焊接结构整体应力。



进行应力控制能够实现以下功能:减重;增强焊接结构疲劳性能;改善焊接质量;减少昂贵的服务问题。例如,为了避免裂纹和失效,能源和核工业中须控制多道焊接的残余应力。

(4) 温度控制工程。

控制易损敏感设备的温度场,避免由于焊接热效应而导致设备的失效。



焊接温度场模拟结果

焊接工艺数值仿真的典型应用

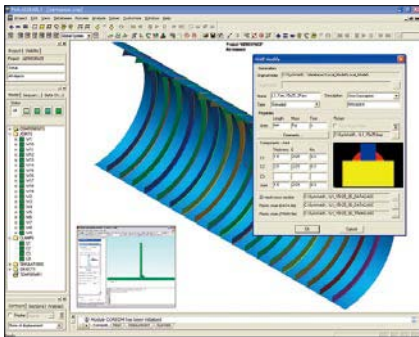
焊接过程数值模拟中,热源拟合、温度场的模拟是最基本的工作,然后就是应力和变形的模拟。温度场的模拟起步较早,也积累了丰富的经验,在实际生产中得到了一定的应用。

1 焊接温度场的模拟

温度场的模拟是对焊接应力、应变场及焊接过程其他现象进行模拟的基础,通过温度场的模拟我们可以判断固相和液相的分界,能够得出焊接熔池形状。焊接温度场准确模拟的关键在于提供准确的材料属性,热源模型与实际热源的拟合程度,热源移动路径的准确定义,边界条件是否设置恰当等。与通用软件相比,专业焊接软件使用起来更加方便,减少了通用软件很多操作时间。例如SYSWELD中设有多种焊接热源模型可供使用者选择:双椭球(Goldak)热源模型适于TIG, MIG焊接,圆锥(Conical)热源模型适于激光、电子束等焊接;并且具有热源校准功能,使热源的拟合尽可能与实际情况相吻合。

2 焊接应力与变形的仿真

焊接应力与变形问题可以分为两类:一是焊接过程中的瞬态应力应变分析;二是焊接后的残余应力



超长焊接长度的焊接装配仿真

与应变计算。对后者进行分析计算的较多,主要是为了减少残余应力,控制变形,防止缺陷的产生。经过几十年的发展,应力与变形的计算日益成熟,结果的精度也在不断提高。

(1) 改进了计算方法的效率和稳定性,计算速度更快,收敛性更好。有很多程序应用了并行计算功能,进一步提升了计算速度,模型也考虑得更加精细。

(2) 深入研究了焊接应力与变形的影响因素。例如材料属性随温度变化,焊接接头几何形状,焊缝道数,不同的焊接方法等。

对于焊接局部模型,存在非常强烈的非线性特征,材料经过高温、相变、冷却后会有残余应力,因此需要对局部进行详细模拟。而对于整体结构而言,可能又体现为弹性变形,所以线弹性分析就够了。对于多道焊接问题,采用先局部,再整体,将局部模型的内力映射到总体模型上的方法具有很大优势,能够快速得到整体模型的应力和变形结果。如果对应整体模型完全按照局部模型的细节进行仿真,可能计算量会大得无法承受,事实上也没有必要。

3 焊接工艺的优化

合适的焊接工艺非常有助于减少焊接结构的变形和残余应力,因此选择合适的焊接材料、夹具条件、焊接顺序、冷却速率控制等,就可以优化焊接结构,提高焊接质量,延长结构服役寿命,降低成本。因此基于焊接数值仿真的焊接结构设计将发挥

重要的作用。

焊接数值模拟技术的 未来发展趋势

焊接数值模拟软件朝着集成化、专业化、工程化等方向发展。

所谓集成化,是指焊接数值模拟将结合焊接工艺库、专家经验与知识库、材料数据库,功能变得越来越丰富和强大,仿真能力更强,使用也更加方便。

所谓专业化,是指焊接模拟软件不断细化,将各种类型的焊接仿真技术模块化,形成适于各种类型焊接工艺的模板库。例如点焊工具、激光焊

工具、电子束焊接工具、钎焊工具、搅拌摩擦焊工具等。

所谓工程化,是指仿真的结果更方便为工程实际所应用。通过焊接仿真,找到优化的焊接工艺参数和焊接顺序,选择合适的焊接材料,融入更多焊接实际工程经验,包括积累的材料数据库等。

焊接是一门传统的制造工艺,但是具体的焊接方法却仍然在不断发展更新,相应地,焊接数值模拟方法也会随之不断发展完善。相信基于焊接数值仿真的焊接结构设计在国内将会有越来越多的应用。

(责编 晓霖)



传播现代制造业信息的平台
搭建厂商与用户合作的桥梁



航空制造技术杂志社
Aeronautical Manufacturing Technology Magazine

电话: 010-85700465 传真: 010-85700466 http://www.mte.net.cn