

有限元软件在弯辊控制辊缝案例教学中的应用

徐耀文 叶传龙 鲍思前 杨庚蔚

武汉科技大学材料与冶金学院, 中国·湖北 武汉 430081

【摘要】弯辊技术是控制板形的有力手段,其课堂教学涉及抽象的力学分析,学生理解起来较为困难。通过有限元软件将弯辊过程进行建模计算,可以把抽象的受力分析转变为具体形象的云图显示,把弯辊控制辊缝形状的过程动态的呈现在学生面前,有利于学生的理解,也为以后有限元软件的学习奠定基础。

【关键词】有限元;弯辊;教学

轧制原理及工艺是材料成型及控制工程专业的核心课程。通过该课程的学习,学生能够了解并掌握钢铁材料轧制的基本原理和轧制工艺,能够进行轧制制度的制定^[1]。板带材的板形控制是其中重要的学习内容,涉及材料力学、金属学、塑性加工力学等内容。而弯辊技术是调整辊缝形状,控制板形的有力手段^[2]。仅仅通过板书和课件演示很难直观的描述轧辊弹跳和金属的流动规律。如果采用实验的方式进行教学也存在很大的困难,因为弯辊很难在试验轧机上实施,成本也过高。而有限元法提供了一个切实可行的方案,可以非常直观并且定量演示轧辊弹跳、轧件变形等信息。

1 有限元分析软件概述

有限单元法是一种求解偏微分方程的算法,被广泛应用于工程和数学等领域。其基础是变分原理和加权余量法。通过将系统划分为有限个互不重叠的小而简单的单元,实现微分方程的离散求解^[3]。目前国内外常用的大型有限元软件主要有ANSYS、MARC、ABAQUS、DEFORM、COMSOL等。这些软件经过几十年的发展都具备友好的人机交互界面,功能强大的前后处理器,复杂运算的处理能力。可以以图片或动画的形式将计算结果显示出来,能够把应力、应变等抽象概念非常直观的表达出来,这有利于学生的理解和学习^[4-6]。

2 有限元分析在弯辊控制辊缝教学中的实践

2.1 弯辊技术

弯辊是指通过采用机械力弯曲轧辊来控制带钢凸度和平直度的技术^[1]。在以往教学中,主要通过概念介绍、幻灯片演示和板书等方式进行讲解,如图1所示。需要学生运用力学知识对受力后的轧辊变形进行预判,对轧辊形状进行想象,对轧后带钢凸度和板形进行推断,有一定难度。主要原因是现实中极少接触到,没有直观认识。

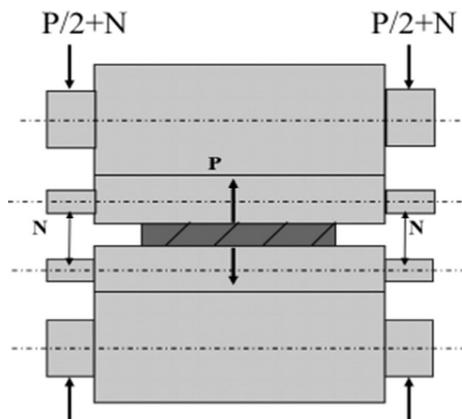


图1 工作辊正弯示意图

2.2 弯辊过程有限元建模

在常规两辊轧制过程中,由于轧辊受到轧件的作用力,会

发生弹性挠曲变形,辊缝会变成中间厚边部薄的形状。这会增大板凸度,增加边浪的风险,需要对此进行控制。在课堂演示过程中需要将轧辊受力的过程,尤其是施加弯辊力对辊缝形状的影响表现出来。

在实际生产中轧辊直径通常有几百上千毫米,板凸度不会达到肉眼可见的数量级,因此在建模时可以考虑缩小径向几何尺寸,使结果更加直观。建模时,轧辊可以采用梁单元 (beam) 来演示,弹性模量 $E=2.1e11Pa$,泊松比 0.3。轧辊长度 1410mm^[7],直径 25mm,轧件宽度 500mm,辊颈长度 205mm。设置边界条件:轧辊中部引入均布载荷模拟轧件对轧辊的作用力,辊颈位置对三个方向位移进行约束,轧辊两端施加点载荷模拟弯辊力。为了演示施加弯辊力前后轧辊形状的变化,引入时间变量 t 。在 0.1s 内轧制力由 0 增加到 50N,之后施加弯辊力,2s 内大小由 0N 线性增加到 80N。模型约束条件见图 2。

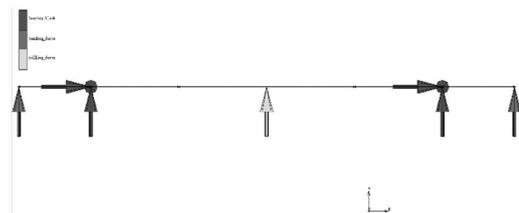


图2 弯辊模型

2.3 结果演示

通过有限元软件的计算,获得轧辊由于轧件作用而产生的挠曲变形,如图 3 (a) 所示。可以直观的看出,轧辊中部变形剧烈,辊缝呈现中间厚两端薄的形状,对应轧件的板凸度较大,有出现边浪的风险。0.1s 之后,在轧辊两端的辊颈位置施加向上的弯辊力。随着弯辊力的增加,轧辊的挠曲变形逐渐减小,2.1s 后的结果如 3 (b) 所示。通过有限元软件,可以将加载过程中轧辊变形情况动态的演示出来,非常直观,有利于学生理解,有助于教师讲解。

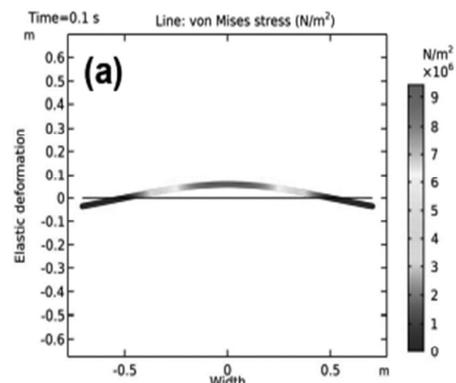
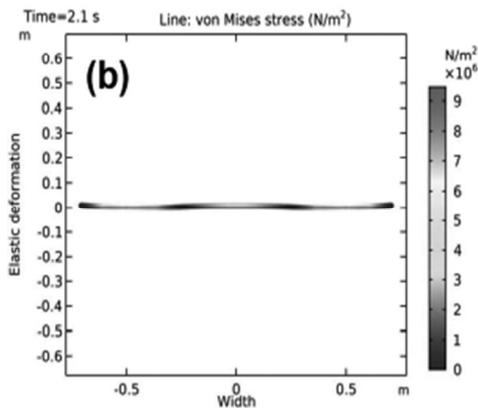


图3 施加弯辊力前(a)与施加弯辊力后



(b) 轧辊形状对比

2.4 实践效果

通过在弯辊控制辊缝形状教学过程中引入有限元辅助讲解,大大提高了学生对相关问题的掌握水平。表1列出了最近5年关于弯辊、浪形以及内应力相关问题的得分率。可以看出,自2016届引入有限元法之后,弯辊相关问题得分率有大幅度的提升。

表1 近五年弯辊相关题目得分率

	2013届	2014届	2015届	2016届	2017届
得分率	51.20%	43.80%	55.50%	77.20%	78.60%

3 结语

将有限元软件应用到弯辊控制板形的课堂教学中,将陌生的弯辊技术,通过动画、云图的形式生动形象的呈现在学生面前。有助于学生对该技术的理解,调动学生学习的积极性。有利于教师的讲解,提高教学效率。实施结果表明学生对相关问题的理解和掌握得到显著提升。通过演示建模过程,使学生对有限元软件有初步的认识,有助于学生有限元软件的学习和使用。

参考文献:

- [1]王廷溥,齐克敏.金属塑性加工学:轧制理论与工艺[M].北京:冶金工业出版社,2012.
- [2]胡伟东,李洪波,赵贞伟等.热轧无取向硅钢小凸度控制研究[J].冶金设备,2018,(04):1-6.
- [3]王勖成.有限单元法[M].清华大学出版社,2003.
- [4]张赛,胡光华,许伯强等.基于COMSOL Multiphysics的有限元仿真分析在《固体中的超声导波》教学中的应用[J].中国多媒体与网络教学学报(上旬刊),2018,(05):14-15.
- [5]李丹,吕婧.有限元软件在船舶结构力学课程教学中的应用[J].船舶职业教育,2018,6(05):18-20.
- [6]徐兵,尹冠生,余斌等.有限元法在材料力学案例教学中的运用研究[J].实验科学与技术,2018,16(01):82-85.
- [7]金贺荣,戴超,韩民峰.弯辊力对Q345R/316L不锈钢复合板热轧成形影响研究[J].机械强度,2019,41(05):1138-1144.

作者简介:

徐耀文(1983.9—),男,武汉科技大学,430081,讲师,教师,博士,研究方向:轧制理论与工艺。