

Teaching Reform and Practice of “Advanced Hot Working Technology for Aeronautical Materials” Course

Enzhi Gao, Jie Wang

School of Material Science and Engineering, Shenyang Aerospace University, Shenyang Liaoning
Email: enzhidan@hotmail.com

Received: Feb. 26th, 2018; accepted: Mar. 13th, 2018; published: Mar. 20th, 2018

Abstract

In this paper, the teaching status of aeronautical materials hot working course is analyzed. It is proposed to increase the content of advanced aeronautical materials and their hot working technology. The latest research results are brought into the classroom. The numerical simulation technology is introduced in the teaching. The teaching means are enriched through the simulation examples of the difficult problems in the teaching. It is easier for students to understand the forming mechanism. The students' ability to solve practical problems is trained.

Keywords

Aeronautical Materials, Hot Working, Teaching Reform, Numerical Simulation

“航空材料先进热加工技术” 课程教学改革与实践

高恩志, 王 杰

沈阳航空航天大学材料科学与工程学院, 辽宁 沈阳
Email: enzhidan@hotmail.com

收稿日期: 2018年2月26日; 录用日期: 2018年3月13日; 发布日期: 2018年3月20日

摘 要

本文分析了航空材料热加工课程教学现状, 提出增加先进航空材料及其热加工等内容, 将最新科研成果

带入课堂。在教学中引入数值模拟技术, 通过教学中难点问题的模拟实例, 丰富教学手段, 加深学生对成形机理的理解, 同时培养学生解决实际问题的能力。

关键词

航空材料, 热加工, 教学改革, 数值模拟

Copyright © 2018 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

近年来, 随着中国航空工业的发展, 热加工技术在现代航空制造业普遍得到重视, 不断发展的新技术改进了产品质量, 提升了航空件的制造效率。航空类专业的从业人员也需要对不断进步的热加工技术有所了解和掌握。作为一门重要的专业基础课, “航空材料先进热加工技术”课程对于高级专业人才的培养具有重要的作用, 该课程主要内容包括航空材料结构件的铸造、热轧、锻造、焊接和金属热处理等热加工技术[1][2]。航空材料结构件在热加工过程会产生温度与应力应变等参数相互耦合作用, 如果温度不合适, 将会产生热应力, 导致航空结构件出现裂纹、变形等缺陷。目前, 该课程教学内容理论性强, 缺乏学科交叉以及利用计算机等现代方法进行科学计算的相关内容和实践, 缺少新技术与加工工艺的介绍。在课堂教学中, 由于热加工过程温度场、应力场变化的不可见性, 使得学生很难理解复杂的变形机制以及缺陷形成原因。如何在有限的学时, 能够让学生理解成形过程涉及的热力学、塑形力学、冶金学等基本定律, 同时培养学生解决工程问题能力是该课程教学的一项重要任务。

2. 教学内容的改革

“航空材料的先进热加工技术”课程要系统讲授航空材料及其结构件加工方法的工艺原则和工艺要求。自第一代飞机问世以来, 航空材料的发展对飞行器性能的提高起到了关键作用, 轻质、高强、高可靠性是航空结构件的目标。早期航空材料以木质材料为主, 在二十世纪初期, 为了提高航空结构件的强度, 航空材料向金属材料过渡, 相继出现了铝合金、镁合金、钛合金以及高温合金的应用。以往航空制造类教材偏重于传统工程材料及热加工技术, 对航空新材料及先进的热加工技术涉及较少。本教学内容对原有教学大纲进行了改革, 减少了传统钢铁材料的介绍, 主要讲述在航空结构件中占比不断增加的铝合金、镁合金、钛合金等轻质金属以及高温合金、先进的复合材料等内容。并且重点讲述航空结构件的先进铸造技术、超塑性和精密锻压技术、特种焊接技术等内容。

3. 数值模拟技术在教学中的应用

航空结构件在热加工成形过程中, 金属材料内部会发生温度、热应力等参数的改变, 这些变化会影响结构件的微观组织及力学性能。由于成形过程的不可见性, 在讲授这类抽象概念时, 学生理解比较困难, 为了能让学生对成形过程内部变化有一个直观的认识, 需要将温度、应力、金属的流动行为等参数的变化以动画、图片的形式展现出来, 加深理解。近年来, 随着计算机技术的发展以及数值分析能力的提高, 基于有限元方法的数值模拟技术以其低成本、高效率的优点及可视化和过程再现能力已在航空材料热加工领域得到了广泛的应用, 利用有限元模拟软件, 模拟航空结构件热加工成形过程, 通过数值模

拟软件的前后处理功能, 将成形过程以及结果直观的展现出来。这对于学生理解复杂的成形机理是一种很有效的方法[3] [4] [5]。

3.1. 教学实例 1

挤压是将放在挤压筒内的金属施加外力, 迫使金属从模芯中挤出, 获得所需断面形状、尺寸的一种加工方法。许多航空用的铝合金、钛合金等型材均采用挤压方法生产。实际生产过程中, 如果挤压温度、速度等参数控制不当, 容易造成挤压制品出现各种各样的缺陷, 从而力学性能不达标。为了能让学理解挤压过程中工艺参数对金属流动的影响机制, 以典型的 U 形悬臂式铝型材为例, 进行数值模拟分析, 通过几何建模、边界条件设定、网格划分等步骤的学习, 让学生了解有限元分析方法。在结果分析中可以获得不同参数下铝型材的变形速度、截面温度等实时生产中难以测量的物理量(如图 1、图 2), 并且根据结果变化云图判断铝合金挤压制品会不会出现裂纹、孔洞等缺陷。通过改变挤压工艺参数、模具结构参数来分析其对挤压过程金属流动的影响规律。通过上述过程, 可以让学生对挤压过程有了更直观的认识, 不同工艺参数的模拟结果对比使学生对工艺原理有了更深层次的认识。

3.2. 教学实例 2

搅拌摩擦焊接是一种新型的特种焊接技术, 通过将一搅拌针旋转插入被焊工件, 通过搅拌针与工件

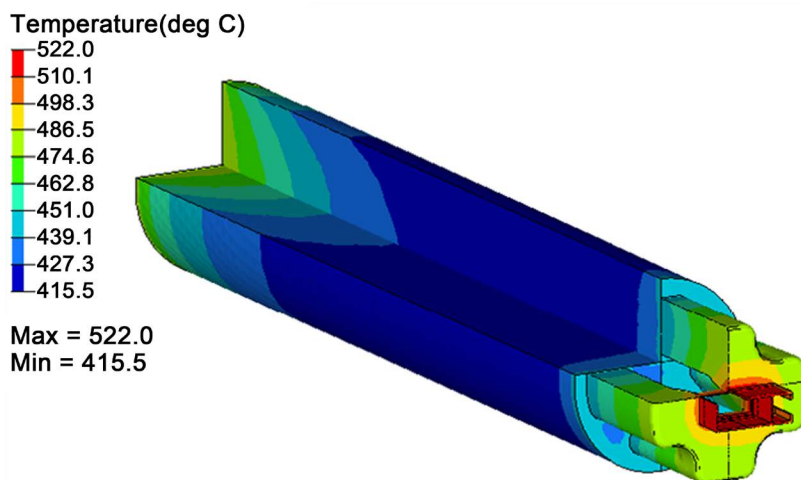


Figure 1. Temperature distribution in extrusion process of profiles
图 1. 型材挤压过程温度分布

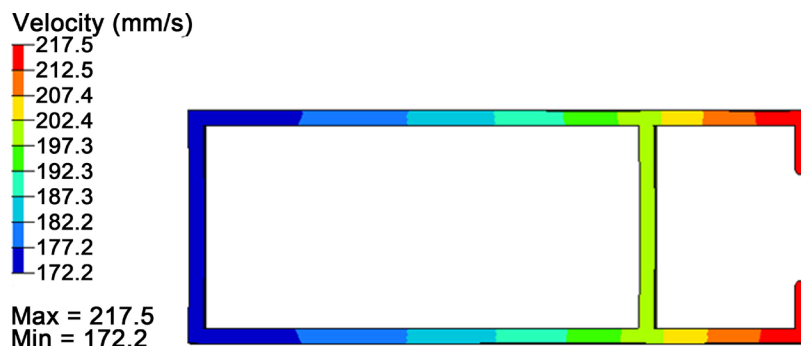


Figure 2. Velocity distribution in extrusion process of profiles
图 2. 型材挤压过程速度分布

的摩擦力将周围金属材料搅拌融合。焊接过程是一个受多参数影响的, 温度变化、金属流动和组织转变等多因素互相作用的复杂过程。温度场、流场是焊接过程的主要组成部分, 存在高度非线性的复杂耦合作用。焊接过程中, 如果工艺参数不合适, 就会产生孔洞、沟槽、飞边等缺陷, 然而由于焊接过程的不可见性, 材料内部金属流动行为无法获得, 教学过程中无法通过实验对流动的动态过程进行可视化。学生理解起来也比较困难。利用数值模拟技术对焊接过程进行仿真分析[6], 将焊接过程温度场、金属流动行为等模拟结果展示给学生(如图3、图4), 让学生参与建模过程并分析金属温度变化与流动行为对缺陷形成的影响, 通过共同学习可以调动学生的积极性, 加强学生对知识的记忆, 课堂效果反映良好。

3.3. 教学实例 3

钛合金具有质量轻、比强度高、耐腐蚀性好等优点, 在航空领域有着良好的应用。拉深成形是钛合金薄壁件的主要加工方法。应用拉深工艺生产的零件多种多样, 简单的如平底圆筒形零件, 复杂的像各种覆盖件等。成形零件直径可从几个毫米到2至3米范围, 厚度从0.1至30毫米。起皱、破裂是拉深成形过程中的最主要的成形缺陷, 起皱主要是毛坯在切向压应力作用下发生塑性失稳的结果。起皱的诱发因素有很多种, 如材料力学性能差、模具形状、模具和压边圈的夹持力、压延筋的阻力、模具与板料之间的摩擦状态以及板料的厚度等, 但其基本过程都遵循压杆失稳的原理。板料在拉深过程中, 当应力超过材料的强度极限时, 会发生破裂而形成裂纹。为避免这些成形缺陷的出现, 就需要合适的材料属性并且可能要修改成形工艺的某些参数或修改模具形状。传统的模具设计和工艺是一个反复的研制过程, 无疑提高了产品的研制成本和开发周期。随着工业化的日益发展, 产品的更新换代周期越来越短, 新材料越来越多地被采用, 传统的设计方法已明显不适应现代工业的要求。在教学中, 利用仿真软件建立符合

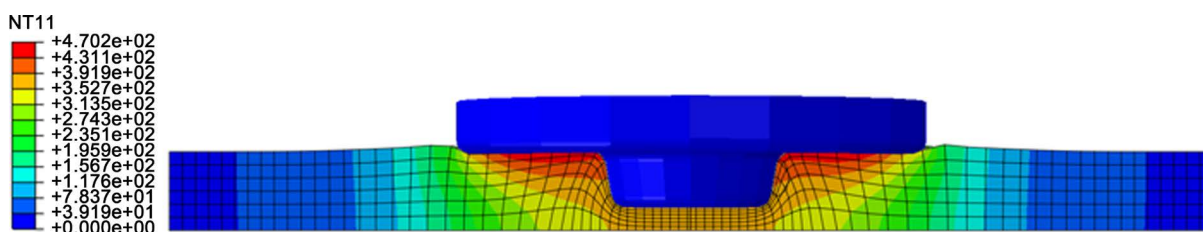


Figure 3. Temperature distribution in friction stir welding

图3. 搅拌摩擦焊接过程温度分布

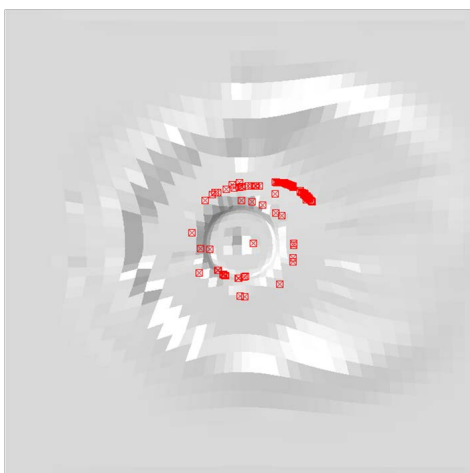


Figure 4. Flow trajectory of particle in friction stir welding

图4. 搅拌摩擦焊接过程跟踪质点流动轨迹

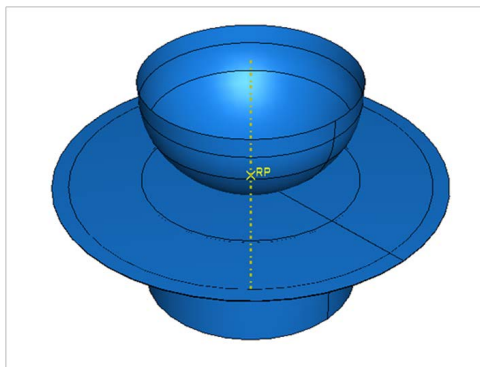


Figure 5. Finite element model for deep drawing of titanium alloy thin wall parts
图 5. 钛合金薄壁件拉深成形有限元模型

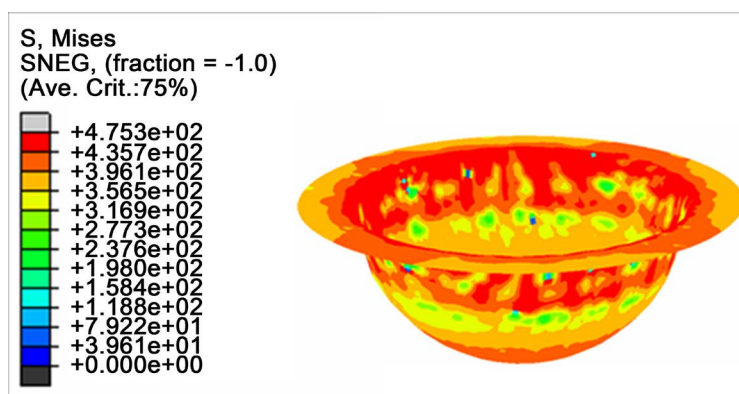


Figure 6. Stress distribution for deep drawing of titanium alloy thin wall parts
图 6. 钛合金薄壁件拉深成形应力分布图

实际的三维有限元模型, 通过对拉深成形过程的数值模拟, 以动画、图片的形式对成形后不同部位的应力、应变、壁厚等参数的变化进行展示, 加深同学对拉深成形机理的理解(图 5 和图 6)。

4. 总结

本文分析了航空材料先进热加工教学存在的问题, 对现有教学内容进行了整改, 在教学过程中引入数值模拟技术来提高教学效果。通过有限元仿真软件对热加工工艺过程进行数值仿真, 将成形过程以直观形象的图片、动画形式展现, 有助于学生对成形工艺机理的理解。在教学过程中, 让学生参与数值模型建立过程, 通过几何建模、边界条件设置、网格划分、模拟结果后处理等步骤的学习, 使学生了解航空结构件加工变形过程、以及成形后温度、应力等参数的分布规律。这种教学方式不仅加深了学生对知识的理解, 同时培养了他们使用计算机进行工程实际应用的能力。

基金项目

国家自然科学基金(项目编号: 51405310), 沈阳航空航天大学本科教学改革研究项目(项目编号: JG2016Z06)。

致 谢

感谢国家自然科学基金(项目编号: 51405310), 沈阳航空航天大学本科教学改革研究项目(项目编号: JG2016Z06)资助。

参考文献

- [1] 郭灵, 王淑云, 林海. 先进航空材料及构件锻压成形技术[M]. 北京: 国防工业出版社, 2011.
- [2] 徐吉林, 罗军明. 航空材料概论[M]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 2012.
- [3] 王毅强, 卢翔, 谭娜, 等. 航空材料与工艺课程综合教学改革实践与研究[J]. 教育教学论坛, 2014(32): 45-46.
- [4] 李江挺, 郭立新, 刘伟. 数值模拟实验在大学物理教学中的应用[J]. 应用光学, 2009(30): 129-131.
- [5] 孔祥清, 翟城章, 文娇, 等. 数值模拟技术在基础力学实验教学中的应用[J]. 科教文汇, 2014(16): 63-64.
- [6] 庄茁, 廖剑晖. 基于 ABAQUS 的有限元分析和应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 2009.

知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2160-729X, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: ae@hanspub.org