

泡沫铝合金耐火性能的研究*

王洪霞¹, 余 焜²

(1. 盐城工学院材料工程系, 江苏 盐城 224003 2. 东南大学材料工程系, 江苏 南京 210096)

摘 要: 用有限元分析软件 ANSYS 建立泡沫铝合金的模型, 模拟出在高温条件下泡沫模型的背火面温度场分布情况, 得出其温度分布规律并求出它的耐火极限。同时对致密铝合金进行分析比较, 发现泡沫铝合金的传热性能低于致密铝合金, 而耐火性能优于致密铝合金。研究的结果对于泡沫铝合金在耐火材料方面的应用具有一定的指导意义。

关键词: 泡沫铝合金; 有限元; 温度场; 耐火极限

中图分类号: TG146.21

文献标识码: A

文章编号: 1671-532X(2004)01-0027-04

泡沫铝合金是一种具有多种优良性能的新型轻质材料。既具有强度、韧性、耐热、导电等金属的特性, 又具有质轻、吸音、减震、绝热等多孔材料的特性。作为一种新型工程材料, 泡沫铝合金在各种军用、民用的工程结构中均展现出广泛的应用前景。目前世界上许多国家正在积极研究开发, 主要集中在制备及其性能的研究上。在制备上已经发展多种制备方法且日趋成熟; 关于性能的研究则主要在吸声性能、力学性能、导电性能以及阻尼性能等方面, 并取得可观的成果^[1]。而对于耐火性能方面国内外报道很少。本文拟采用有限元分析软件 ANSYS 模拟泡沫铝合金板的高温下温度场的分布情况以及其耐火极限的确定。

1 有限元分析软件 ANSYS 简介

有限元分析方法的基本思想是将结构离散化, 用有限个容易分析的单元来表示复杂的对象, 单元之间通过有限个节点相互连接, 然后根据变形协调条件综合求解。由于单元数目是有限的, 节点的数目也是有限的, 所以称为有限元法。这种方法灵活性很大, 只要改变单元的数目, 就可以使解的精确度改变, 得到与真实情况无限接近的解。ANSYS 软件是由美国 ANSYS 公司研制的, 融结构、热、流体、电磁、声学于一体的大型通用的有限元商用分析软件。它能够与大多数 CAD 软件

实现数据共享与交换, 是现代产品设计中高级的 CAD/CAE 软件之一^[2]。ANSYS 软件的强大的功能与其有着很多的模块应用是分不开的。其中前处理模块、分析求解模块和后处理模块是最基本的三大模块。前处理模块用于建立有限元几何模型, 定义材料性能参数以及划分网格; 分析求解模块主要是对模型施加边界条件、载荷、求解控制选项以及求解; 后处理模块是对计算结果进行处理, 可将结果以等值线、梯度、矢量、粒子流及云图等图形方式显示出来, 也可用图表、曲线的方式输出。

2 热分析温度场的基本方程

三维温度场中, 瞬态温度场的场变量 $T(x, y, z, t)$ 在直角坐标系中应满足的微分方程^[3]为:

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} - \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda_x \frac{\partial T}{\partial x} \right) - \frac{\partial}{\partial y} \left(\lambda_y \frac{\partial T}{\partial y} \right) - \frac{\partial}{\partial z} \left(\lambda_z \frac{\partial T}{\partial z} \right) - \rho Q = 0 \quad (1)$$

其中, ρ 为材料的密度, c 为材料的比热, λ_x 、 λ_y 、 λ_z 分别是材料沿 x 、 y 、 z 方向的热传导系数, Q 为物体内部的热源密度。此方程左边第一项是微体升温需要的热量; 第二、三、四项是由 x 、 y 、 z 方向传入微体的热量; 最后一项是微体内热源产生的热量。该方程是热量平衡方程, 它的物理意义是: 微

* 收稿日期: 2003-11-19

作者简介: 王洪霞(1974-), 女, 江苏阜宁人, 盐城工学院助教, 东南大学在职硕士研究生。

体升温所需要的热量与传入微体的热量以及微体自身内热源产生的热量相平衡。

上述微分方程加上初始条件和边界条件可以得到唯一解。

3 耐火性能评价准则

在消防科研、管理、监督以及建筑设计工作中通常用耐火极限来表示建筑构件、配件和机构的耐火性能。耐火极限是指试件从受火作用起到失去稳定性或完整性被破坏或失去隔热作用时止的这段时间。耐火极限本身是一个时间概念,是试件在某个温度环境中所处的一段时间。对于金属结构材料,当达到熔点时,其稳定性就会被破坏。参照文献[4]的规定,本文采用以下准则:在向火面施加某个高于熔点的温度,考查其背火面温度达到熔点所需要的时间。

4 求解步骤与结果分析

4.1 求解步骤

4.1.1 建立有限元模型

建立孔隙率为 76% 的泡沫铝合金板模型,如图 1 所示。用圆形来模拟孔洞,为方便施加载荷并设置模型边界为一平面,板厚为 3 cm,长为 6.5 cm。

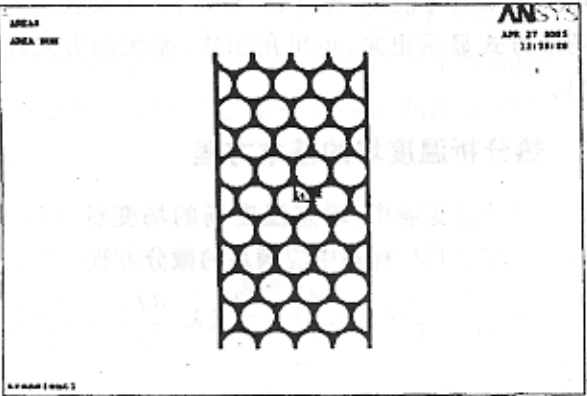


图 1 泡沫铝合金有限元模型

Fig.1 The finite element model of foamed aluminum alloy

4.1.2 定义单元类型并输入材料参数

单元类型取四接点矩形单元 PLANE55;因泡沫铝合金原始材料为 ZL201,因而其材料参数按照 ZL201 的有关参数输入。

ZL201 的密度为 $2.78 \times 10^3 \text{ kg/cm}^3$,它的热物理特性^[5]如下表 1 所示,这两个参数都以表格形式输入并可给出它们与温度的曲线。

表 1 不同温度条件下 ZL201 的热导率及比热
Table 1 The thermal conductivity and specific heat of ZL201 at different temperature

温度/℃	热导率/ $\text{W}(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})^{-1}$	比热/ $\text{J}(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})^{-1}$
25	113	—
100	121	837
200	134	962
300	147	1046
400	159	1130

4.1.3 网格划分

网格划分采用 MeshTool 选项中的 SmartSize 对模型进行自由网格划分,并设定划分精度等级为 2 级。

4.1.4 初始条件及边界条件

初始条件是模型的开始温度是均匀的,模型和环境温度都为 25℃。施加载荷(边界条件)为:对向火面施加 660℃ 的温度,背火面的复合换热系数为 $50 \text{ W}(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$,该换热系数是包括对流和辐射的一综合换热系数。为了便于分析,忽略了对热传导贡献较小的模型胞内辐射与对流。

4.1.5 求解

设定求解过程为瞬态;控制输出中设定每个求解子步都存盘;求解时间为 3600 s,开始时间步尺寸为 1 s,最小时间步尺寸为 1 s,最大时间步尺寸为 300 s。

4.1.6 结果处理与分析

求解结束后利用通用处理器模块 POST1 可得出模型在加热 1 小时后的温度分布云图。如图 2 所示,可看出其背火面的温度为 610.8℃,还没有达到泡沫铝合金的熔点 650℃。

由于背火面任一点温度都相同,故可用时间历程响应后处理模块 POST26^[2]处理出背火面任一点的温度与时间的关系,如图 3 所示。从图中可看出,背火面温度在前 200 s 内迅速增加,随着加热时间的延长,背火面温度增加幅度趋于平缓直至不变。为了验证这一趋势分别取加热时间为 2 h、4 h 以及 6 h 求解,其背火面温度仍然为 610.8℃。因此背火面温度达到熔点的时间必然为无限长。所以在 660℃ 加热条件下泡沫铝合金的耐火极限为无限长。

提高加热温度,当加热温度为 705℃ 时,重新求解。发现其背火面温度为 652.5℃,已超过熔点,此时泡沫模型的耐火极限为 101.8 s。

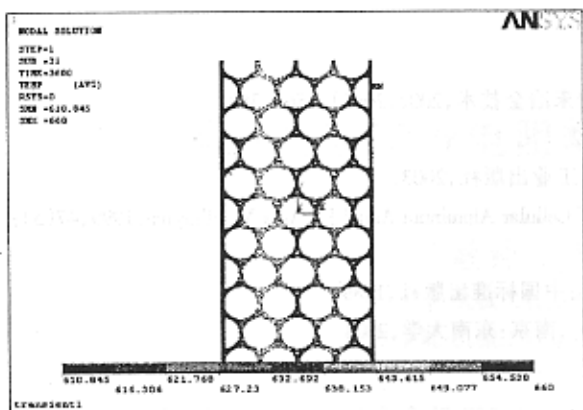


图 2 泡沫模型在 660 加热 1 h 的温度云图

Fig.2 The chart of temperature field of foamed model heated for one hour at 660 °C

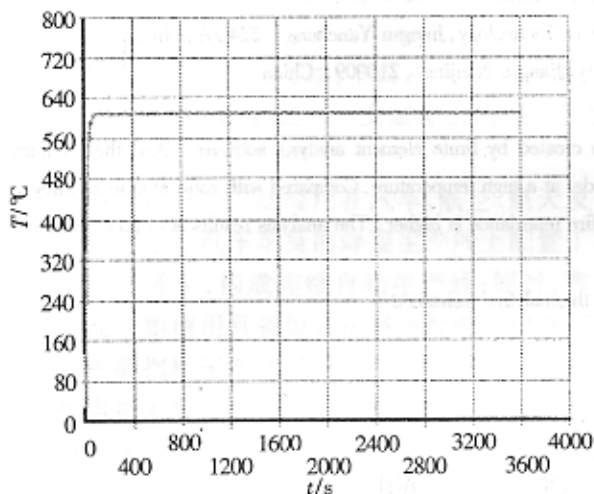


图 3 泡沫模型背火面温度与时间的关系

Fig.3 The chart of relation between temperature and time of the rear surface of foamed model

按照上述方法,建立同样尺寸的致密铝合金板模型。在 660 °C 加热条件下求解出其背火面温度与时间的关系,并得出它的背火面温度达到 650 °C 的时间为 47 s。图 4 中虚线即为它的背火面温度与时间关系曲线,从中也可大致看出它的耐火极限。而该图中的实线是第一次求解的泡沫模型的背火面温度与时间关系曲线(截取前 180 s 内的关系曲线)。通过比较,可看出泡沫模型的背火面开始升温曲线的斜率低于致密模型,说明泡沫铝合金的传热性能低于致密铝合金,而它的耐

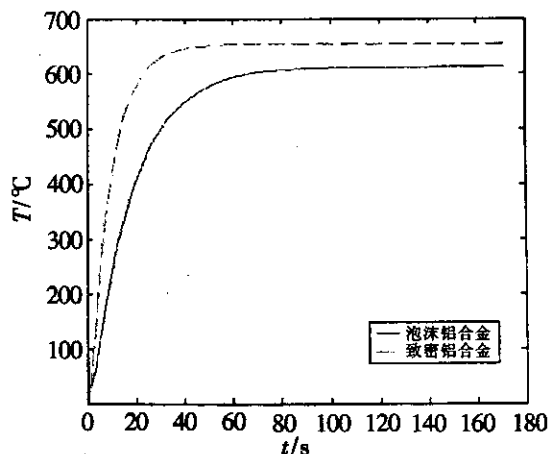


图 4 相同条件下二种模型的背火面温度与时间的关系

Fig.4 The chart of relation between temperature of rear surface and time of the two model at same condition

火性能优于致密铝合金。耐火极限的大小的比较也说明了这一现象。

4.2 本文结果与理论计算值的比较

参考文献 [4] 对向火面温度恒为 660 °C 的条件下的泡沫模型背火面温度 T_B^∞ 进行理论计算, 求出 T_B^∞ 约为 589.9 °C。虽然有限元模拟结果比理论计算值高几十度,但该文是将材料的热传导系数看成常数,与加热温度无关。实际上热传导系数是随着温度升高而有所上升的,因而模拟结果偏高一点是正常的。而本文结果与文献 [6] 用正六边形模拟孔洞计算出的背火面温度 608.1 °C 基本一致。

5 结论

用有限元分析软件模拟泡沫铝合金在高温加热下的背火面温度场分布,其分布规律是:在开始较短的时间内温度迅速升高,随后缓慢上升直至不变。它的热传导性能比致密铝合金低,而耐火性能明显好于致密铝合金。在 660 °C 加热时它的耐火极限为无限长,当加热温度提高到 705 °C 时它的耐火极限为 108 s。这些研究结果对于泡沫铝合金在耐火材料方面的应用具有一定的指导意义。

参考文献：

[1] 陈学广 ,赵维民等 . 泡沫金属的发展、现状、研究与应用[J]. 粉末冶金技术 ,2002 ,20(6) 356 – 358.
[2] 刘涛 ,杨凤鹏等 .精通 ANSYS[M].北京 :清华大学出版社 ,2002.
[3] 许鑫华 ,叶卫平 .计算机在材料科学中的应用[M].北京 :机械工业出版社 ,2003.
[4] Lu T J ,Chen C. Thermal Transport and Fire Retardance Properties of Cellular Aluminum Alloy[J]. Acta Metallurgica ,1999 ,47(5) : 1469 – 1485.
[5] 工程材料实用手册编辑委员会 .工程材料实用手册[M].北京 :中国标准出版社 ,1989.
[6] 李杰锋 .泡沫铝合金热处理性能的改善及耐火性能的研究[D].南京 :东南大学 ,2003.

Study on Fire Retardance of Foamed Aluminum Alloy

WANG Hongxia¹ ,YU Kun²

(1. Department of Material Engineering of Yancheng Institute of Technology Jiangsu Yancheng 224003 ,China)
(2. Department of Material Engineering of Southeast University Jiangsu Nanjing 210009 , China)

Abstract :In this article an element model of foamed aluminum alloy is created by finite element analysis software . And the software solves the transient temperture field and thermal fire resistance of the model at a high temperature. Compared with solid aluminum alloy , thermal transportation property of foamed aluminum alloy is lower but its fire retardance is higher. The analysis results is of great directive significance in fire retardance application of foamed aluminum alloy.

Keywords :foamed aluminum alloy ; finite element ; temperature field ; thermal fire resistance



《盐城工学院学报(自然科学版)》是江苏省教育厅主管、盐城工学院主办的自然科学类学术期刊 ,国内外公开发行。《学报》的办刊宗旨是“ 百花齐放、百家争鸣 ” ,传播科学技术 ,弘扬民族优秀科技文化 ,为促进教学、科研水平的不断提高。《学报》报道的主要内容包 括机械工程、化学工程、材料工程、建筑工程、电气工程、计算机应用及维护、纺织工程、海洋工程等自然科学和工程技术方面的学术论文、实验报告、综合评述、技术革新与改造成果、科技信息等。本刊主要设有“ 博士论坛 ”、“ 理论研究 ”、“ 应用研究 ”、“ 综述 ”等栏目 ,主要读者对象为高校的教学、科研人员 ,科研院所、厂矿企业的工程技术人员和科研人员等。本刊热忱欢迎读者赐稿。

编辑部地址 :江苏盐城市黄海中路 20 号 盐城工学院 802 信箱
邮 编 224003
E – mail :YCGB@CHINAJOURNAL.NET.CN