

基于 ANSYS 软件的焊接变形工程预测

薛 勇, 张建勋

(西安交通大学, 陕西 西安 710049)

关键词: ANSYS; 变形预测; 温度场

中图分类号: TG407

文献标识码: B

焊接时, 加热和冷却循环总会引起一定程度的变形, 焊接变形对尺寸稳定性以及结构力学性能都有很大的影响, 控制焊接变形在焊接加工中是一个关键的任务。多年来各国学者和专家对焊接变形的预测进行了大量研究, 尽管在利用计算机数值方法预测焊接变形取得了丰硕成果, 但在工程上还存在着一个实际应用的问题, 因为许多预测方法要么是完全基于经验公式而较难应用于实际, 要么模型过于复杂, 应用起来繁琐不便。为此, 面向工程应用的焊接变形预测方法逐渐被一些研究者重视起来。日本一些学者利用他们在 70 年代提出的固有应变概念在焊接变形的工程预测方面作了许多研究。美国俄亥俄州立大学的研究者认识到对于大型焊接结构使用 FEM 所面临的障碍, 在固有收缩模型的基础上提出一种线性弹簧收缩模型以模拟焊接接头中焊缝金属的热收缩。国内上海交通大学汪建华教授等人作了深入的研究, 提出了残余塑变有限元法, 其策略是将预先求得的残余塑变的大小和分布作为初始应变置于焊缝及其附近, 通过一次弹性有限元分析求得整个构件的焊接变形。

随着科学技术的飞速发展, 当前个人微机的性能已比得上 10 年前的中型机, 而在 80 年代末为了预测长 15 厘米焊件的变形, CRAY Y-MP 计算机的 CPU 时间会需要 72 小时。在软件方面, 大型通用有限元分析软件 ANSYS 以其集结构、流体、电场、声场分析于一体的功能在有限元软件方面脱颖而出, 它是惟一能实现多场及多场耦合分析的软件, 多物理场耦合的功能使它允许在同一模型上进行热-结构耦合等的计算, 具有强大的非线性分析功能, 在焊接上的应用有广阔的前景。本文结合当前硬件设备 (以 PIII 733 为核心的个人微机) 和软件环境 (ANSYS 有限元分析软件), 首先建立温度场再利用间接顺序耦合法进行结构分析, 对面向工程的焊接变形预测问题作了研究。

1 计算模型

针对平板堆焊的实际问题, 本方案将热源加在试件中心线上, 根据对称性, 取其一半进行分析, 有限元单元网格如图 1 所示。热源附近网格划分得较密, 远离热源的部位一方面将网格划分

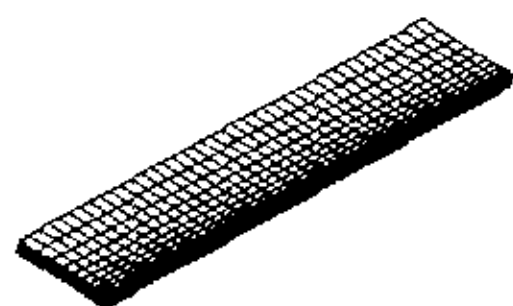


图 1 有限元网格模型

得疏些, 另一方面用子结构的技术将局部地区的单元凝聚为超单元以便在后面的求解中节省机时。采用映射法进行网格部分, 并对产生的节点、单元号进行整理压缩。为了能足够的模拟弯曲反应, 在厚度方向上使用了 3 个单元。单元总数为 1 200, 自由度为 1 804, 最小单元尺寸为 5.000 mm × 1.573 mm × 1.667 mm。

在本方案中, 结构分析采用的是非线性静力分析, 因此对材料处理为与应变率无关的塑性, 塑性应变假定为瞬间建立。在与率无关的塑性理论中涉及三个准则: 屈服准则, 流动准则和强化准则。这里采用 Von Mises 屈服准则, 在主应力空间中 Mises 屈服准则见图 2。三维坐标系中, 屈服面是一个以 $\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3$ 为轴的圆柱面, 在屈服面内部的任何应力状态都是弹性的, 屈服面外部的任何应力状态都会引起屈服。

流动准则: 流动准则规定单个塑性应变分量 ($\epsilon_1^p, \epsilon_2^p, \epsilon_3^p$) 随着屈服怎样发展。这里采用相关流动准则。

强化准则: 强化准则确定初始屈服准则随着塑性应变的增加如何发展, 这里采用随动强化准则, 它假定屈服面的大小保持不变, 仅在屈服的方向上移动, 当某个方向的屈服应力升高时, 其相反方向的屈服应力相应降低, 即考虑材料包辛格效应, 参见图 3。

综合上述三个准则, 本方案在材料塑性选项中采用双线性随动强化准则 (BKIN), 它使用一个双线性来表示应力应变曲线, 所以有两个斜率, 弹性斜率和塑性斜率, 需要输入的常数是屈服应力 σ_y 和切线斜率 E_T 。在本方案中定义了 5 条不同温度下的曲线。

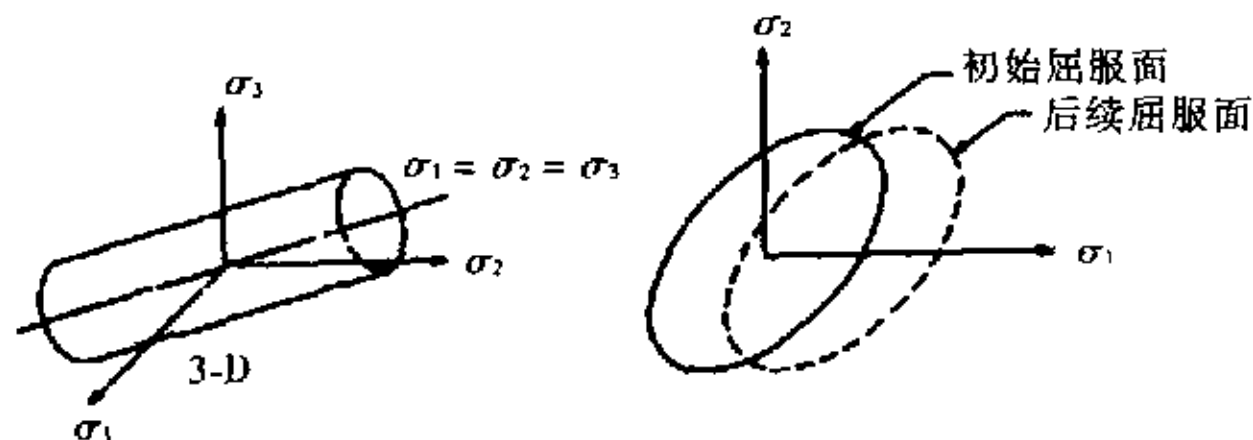


图 2 Mises 屈服准则

图 3 随动强化时的屈服面变化图

2 程序设计

本研究采用 ANSYS 参数设计语言编制了命令程序文件, 设计中不考虑应力应变对温度场的影响, 因此使用间接法 (不需要物理环境方法的在物理环境之间迅速切换功能) 进行

顺序耦合场分析,也即单向顺序耦合,先进行独立的非线性瞬态热分析,然后将瞬态热分析求得的各载荷步(也即时间点)的温度作为体载荷施加到结构应力应变分析中。

热源的移动以步进的方式处理,热源在板的中心线从左移动到右边历时80 s,之后热源撤消直至1 h,这一过程用if-then-else分支和do-loops循环语句实现。

研究中使用瞬态传热分析,其基本步骤与稳态热分析相似,主要区别是瞬态热分析中的载荷是随时间变化的,因此将载荷分为载荷步,对每个载荷步,定义载荷值和时间值,时间值为2 s,同时选择载荷步为阶越。

虽然分析时需要求解多载荷步,但不能采用求解多载荷步方法之一的载荷步文件法,因为模拟焊接过程中材料熔敷的单元不激活和重新激活的单元状态(单元生死特性)不会写入载荷步文件中,因此在本分析方案中,多个载荷步用一系列solve命令实现。

因为采用间接的顺序耦合方法,所以要考虑到温度场和应力应变场分析时单元的兼容性问题,本方案选择三维热传导功能的8节点单元SOLID70用作热分析,每个节点的自由度是温度,与其兼容的三维8节点实体结构单元SOLID45用作变形分析,每个节点的自由度 x 、 y 、 z 轴方向的位移。单元如图4所示。

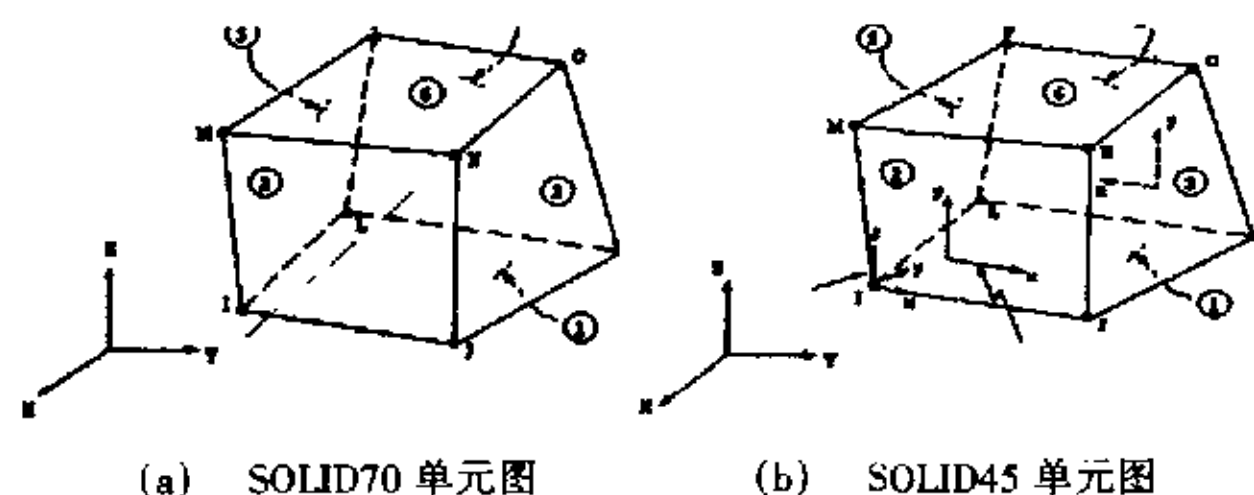


图4 SOLID70、SOLID45单元示意图

在本研究方案中涉及多物理场求解,求解速度是考虑的一个重要因素,因此求解器选用不完全乔类斯基共轭梯度法(ICCG)。

3 结果分析

3.1 试验条件:

研究采用200 mm×80 mm×5 mm低碳钢Q235钢板,热源在板中间沿长度方向匀速移动,热通量为18 MW/m²。

平板初始温度为室温20℃,表面自然对流换热系数为3.42 W/(m²·℃)。热源移动速度为2.5 mm/s,热源功率为1 800 W。

3.2 分析结果

图5是热源在移动过程中形成的准稳态温度场。

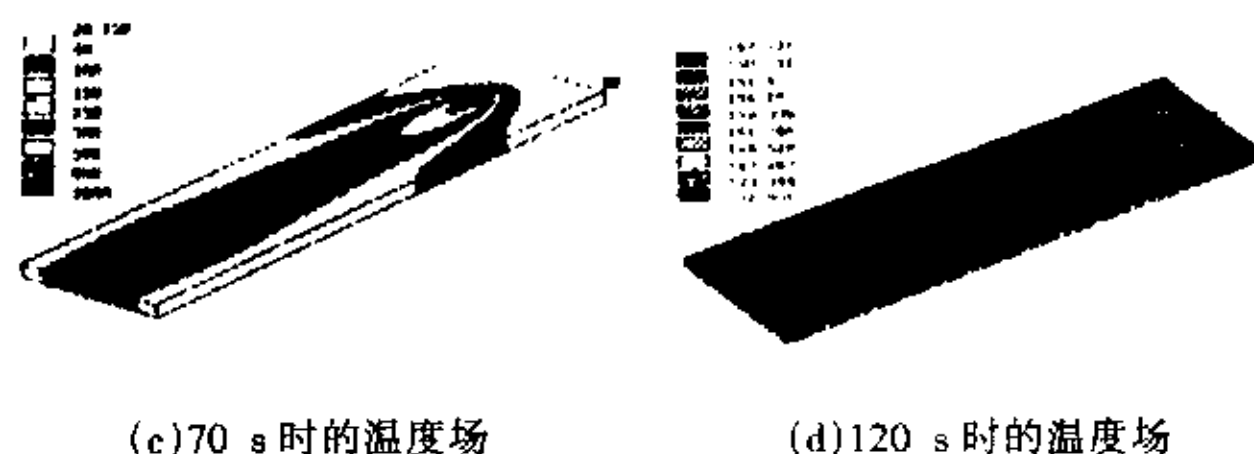
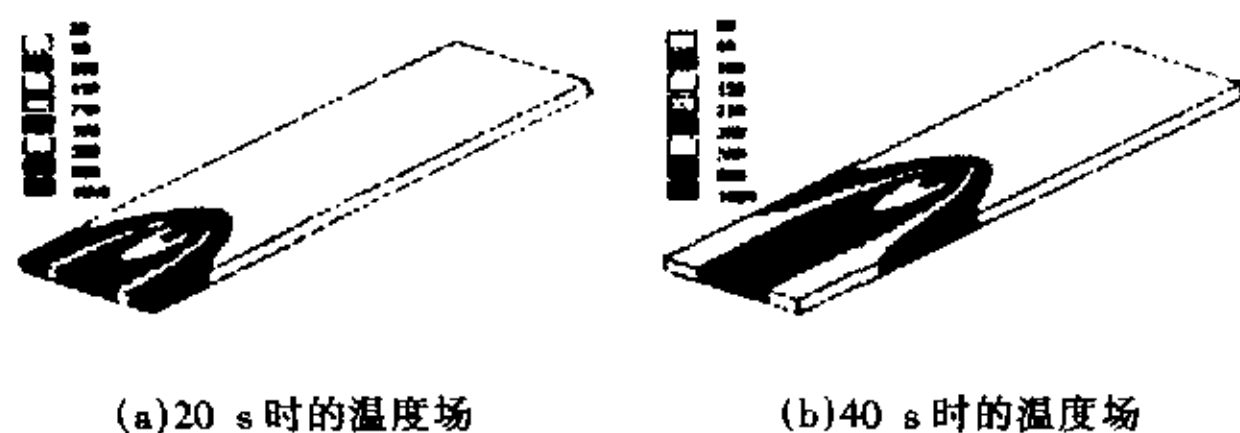


图5 不同时刻的温度场

在板上表面选取4个节点,分别为1(20.0, 40.0, 5.0), 2(20.0, 43.5, 5.0), 3(20.0, 45.7, 5.0), 4(25.0, 48.4, 5.0),它们的温度随时间变化以不同程度依次升高,然后下降最后趋于水平。在结构变形分析

DISPLACEMENT DSCA = 89.049
STEP = 1 ZV = 1
SUB = 14 DIST = 0.114 544
TIME = 20 XP = 0.096 125
RSYS = 0 XF = 0.023 815
DMX = 0.112E-03 ZF = 0.002 763
Z-BUFFER



图6 20 s时平板变形图

时,采用静态分析,图6是当热源移动到20 s的时刻,读取温度载荷作结构分析的平板变形图。

終了时平板变形见图7,在平板上取8个观察截面,各方向的变形见图7(b~f)。

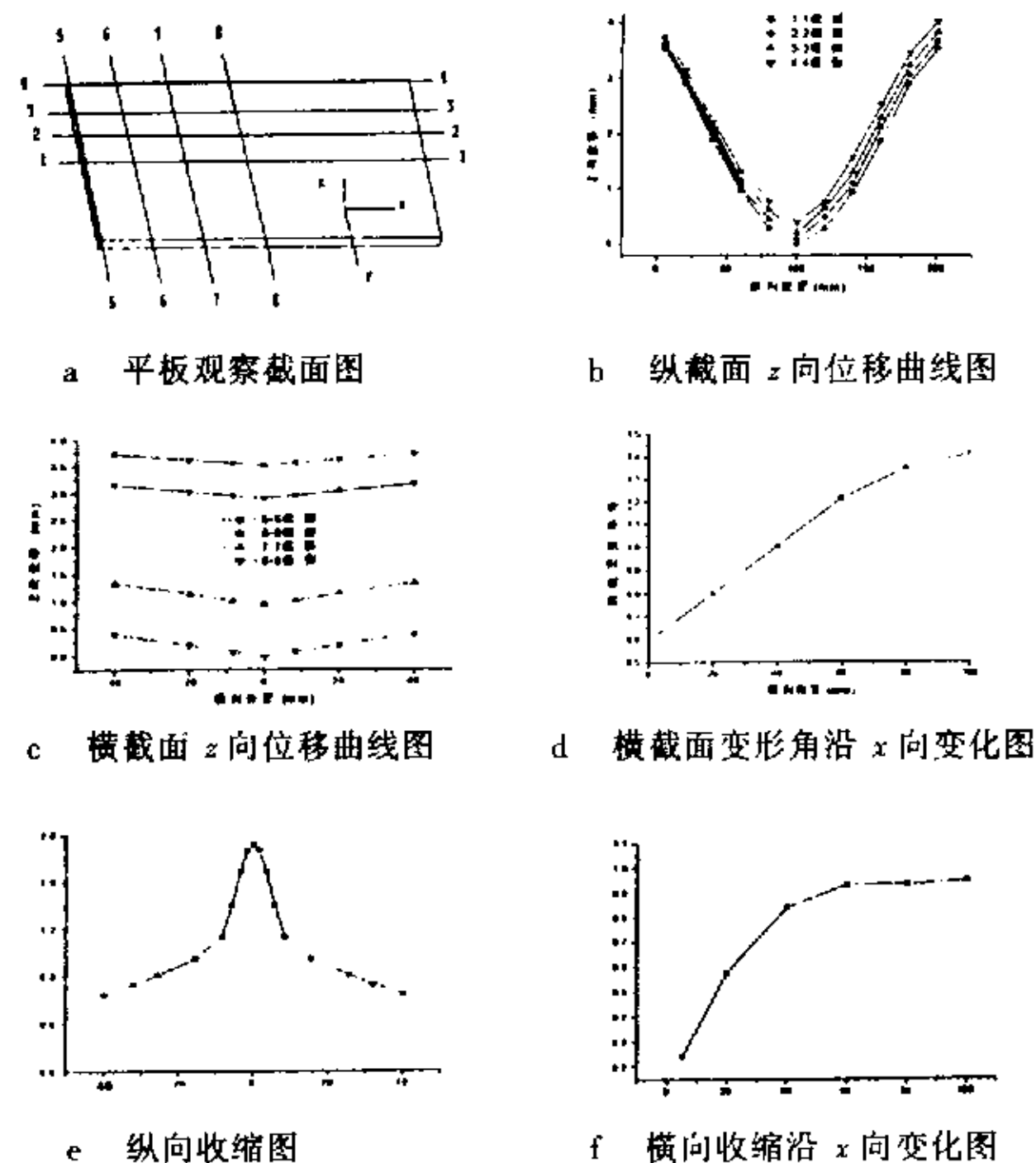


图7 1 h后平板变形图

4 结论

本文用ANSYS参数设计语言建立了数值分析模型,分析中考虑了材料热物理性能参数和力学性能参数随温度而变化,同时考虑了试件表面与外界自然对流换热的热损失。

分析结果表明,用耦合法计算出的平板变形与预期结果相一致,并且在PⅢ733微机上计算求解共耗时13 h,对于面向工程的焊接变形预测具有较好的参照价值。