



温循条件下封装器件焊点的瞬态热 力耦合仿真研究

姓名：师航波

职务：结构设计

公司：西安微电子技术研究所



一 问题对象描述

二 封装器件建模

三 蠕变理论分析

四 瞬态热力耦合仿真设置

五 结果讨论

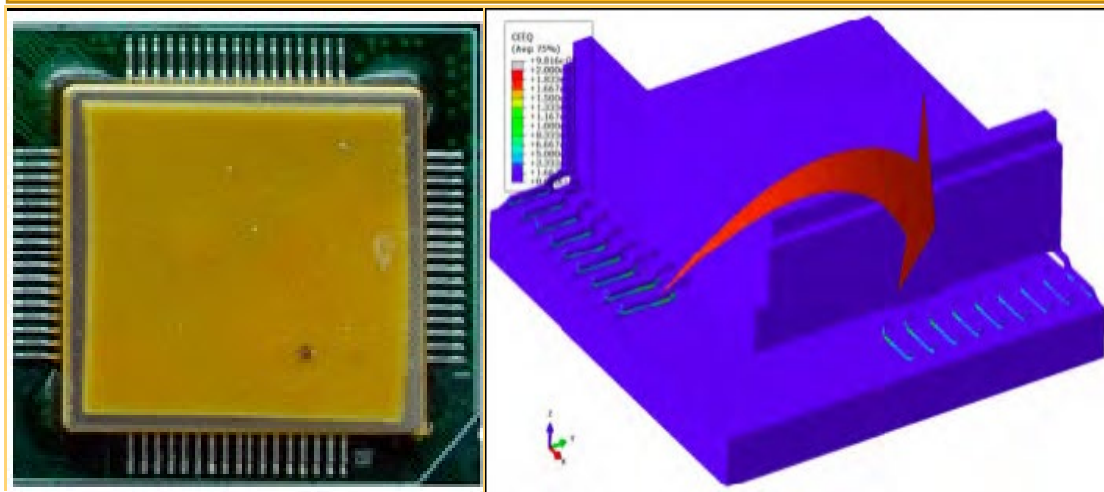
一、问题对象描述



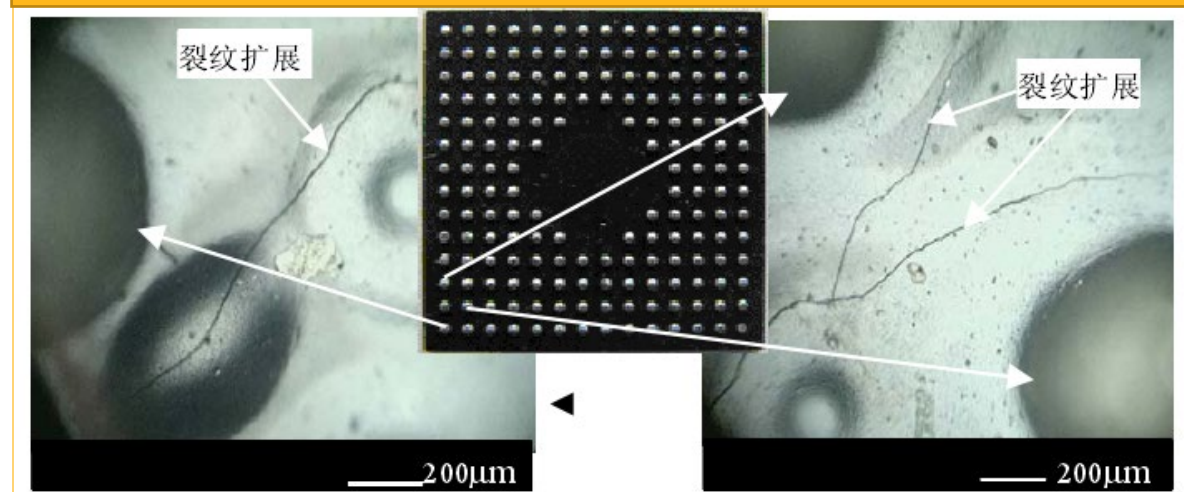
1、问题对象描述

研究背景：随着航天电子与装备系统的发展，电子封装器件的体积愈小，功耗愈大，工作环境愈发严酷，其在工作过程或试验过程中受到温度循环载荷作用导致封装件失效的问题也越发严峻。

温循载荷作用下电路板焊点的蠕变



温循载荷作用下焊点裂纹的扩展方式



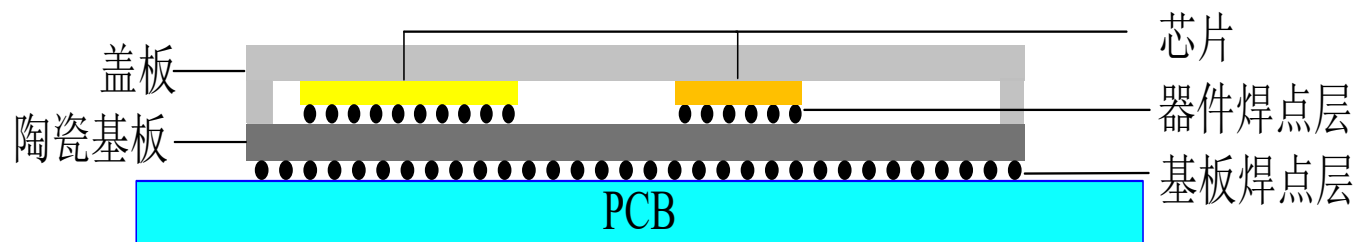
二、封装器件建模



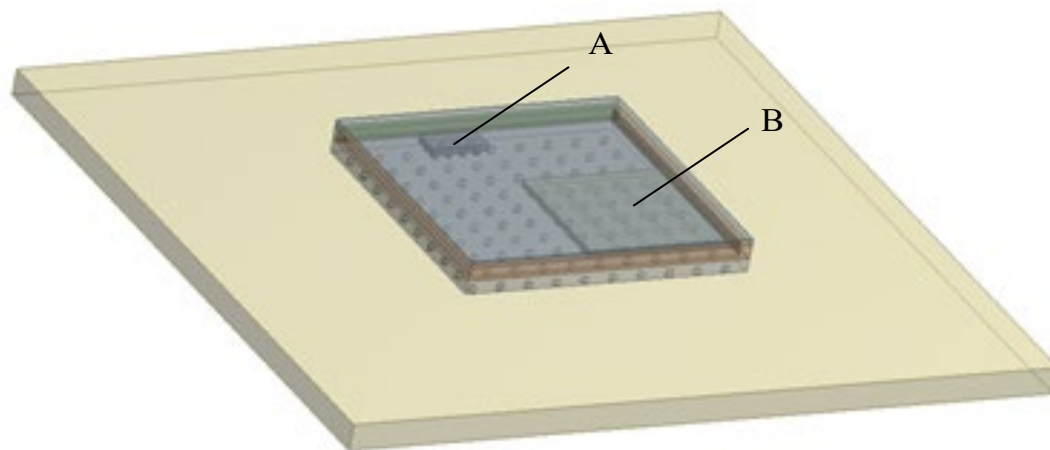
1、封装器件三维建模

仿真所用模型为BGA封装形式的金属陶瓷芯片载体，整体尺寸大小为50mm×50mm×5mm，如图1所示，封装模型共分为六层，包括盖板，芯片，器件焊点层，陶瓷基板，基板焊点层和PCB板。其中芯片A发热功率为1W。芯片B发热功率为2W。

BGA封装器件封装形式



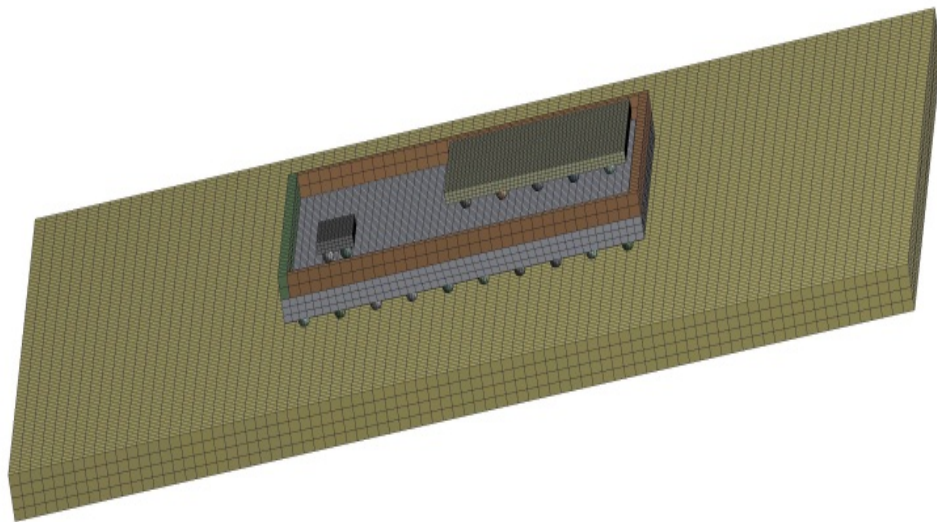
BGA封装三维模型



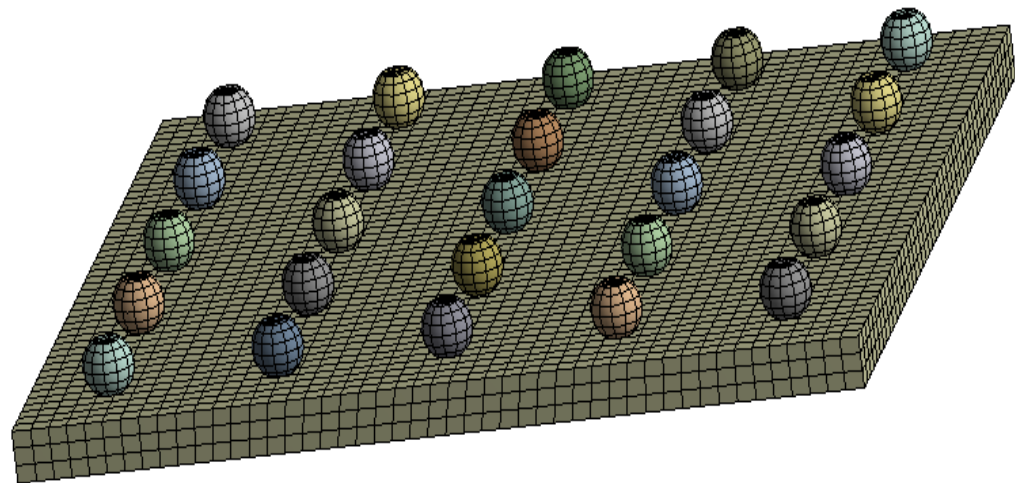
2、封装器件有限元建模

考虑计算精度和计算时间的关系，需要对有限元模型的网格数量和质量进行优化。在Icepak中建立assembly，对assembly进行局部网格划分，保证每个部分至少有三层网格，确保计算结果的准确性。在Mechanical中采用Multizone，将目标区域自动分解为多个可以扫掠的区域，生成高质量的六面体网格。同时采用Body Sizing设置不同区域网格尺寸，确保网格精度。

BGA封装三维网格模型



芯片B的局部网格模型



3、仿真难点

行业内针对封装器件在温循作用下的应力仿真方法主要分两种：

01

在Mechanical中直接输入温度载荷

将温循条件直接当作温度载荷输入，实现瞬态的热应力仿真。

未考虑温循过程
封装器件热耗引
起的温度变化

02

稳态热力耦合仿真

将Icepak仿真的最终结果传递至Mechanical，实现稳态热力耦合仿真。

未考虑器件及
环境温度的瞬
态变化造成的
蠕变累积

本文提出一种基于ANSYS Workbench有限元软件的瞬态热力耦合仿真方法，实现温循作用下封装器件的瞬态热力耦合仿真分析。

三、蠕变理论分析



1、蠕变理论分析

蠕变变形是指材料在一定温度，通常指大于0.4T_m（T_m为材料熔点）、恒载荷作用下，即使应力水平低于屈服极限，仍会缓慢发生的不可恢复变形。金属的蠕变可分为三个过程，减速蠕变、稳态蠕变以及加速蠕变。锡铅材料为常温即可发生蠕变行为，具有较为明显的非弹性应力应变特征，为了更加精确模拟这一率相关的力学行为，在有限元分析时采用了粘塑性Anand 本构模型。

模型的稳态塑性流动可描述为

$$\dot{\varepsilon} = A \exp\left(-\frac{Q}{RT}\right) \left[\sinh\left(\xi \frac{\sigma^*}{s^*}\right)\right]^{1/m} \quad (1)$$

$$\sigma^* = c s^* = \frac{\hat{s}}{\xi} \left(\frac{\dot{\varepsilon}}{A} \exp\left(\frac{Q}{RT}\right)\right)^n \sinh^{-1} \left(\left(\frac{\dot{\varepsilon}}{A} \exp\left(\frac{Q}{RT}\right)\right)^n \right) \quad (2)$$

$$\dot{s} = \left(h_0 \left| 1 - \frac{s}{s^*} \right|^a \cdot \text{sign}\left(1 - \frac{s}{s^*}\right) \right) \cdot \dot{s}, \quad a \geq 1 \quad (3)$$

$$s^* = \hat{s} \left(\frac{\dot{\varepsilon}}{A} \exp\left(\frac{Q}{RT}\right)\right)^n \quad (4)$$

1、蠕变理论分析

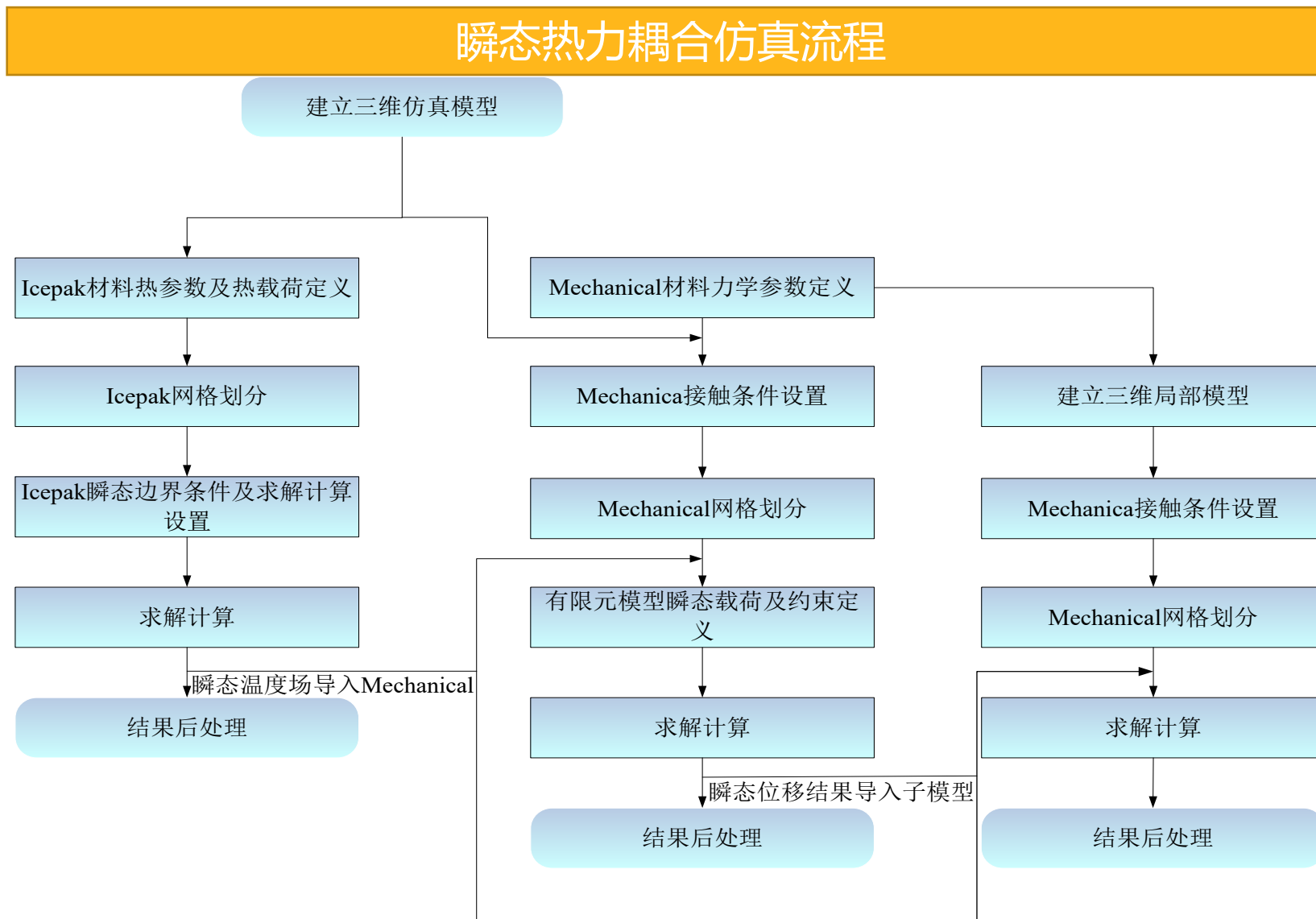
上式中， \dot{s} 是非弹性应变速率， A 是常数， Q 是激活能， m 是应变率敏感指数， ξ 是应力乘子， R 是气体常数， T 是绝对温度， h_0 和 a 为应变强化敏感系数， s^* 表示给定温度和应变率下的内部变量的饱和值， \hat{s} 为系数， n 为应变阻抗饱和值的应变率灵敏度指数，在求解方式时需要给出其初始值 s_0 。各参数具体值见表1。

表1 铅锡焊球的Anand本构模型相关参数								
s_0/MPa	$Q/R(1/T)$	$A(1/\text{min})$	ξ	m	h_0/MPa	\hat{s}/MPa	n	a
56	10830	8.94e+8	11	0.303	2640	80	0.0231	1.34

四、瞬态热力耦合仿真设置



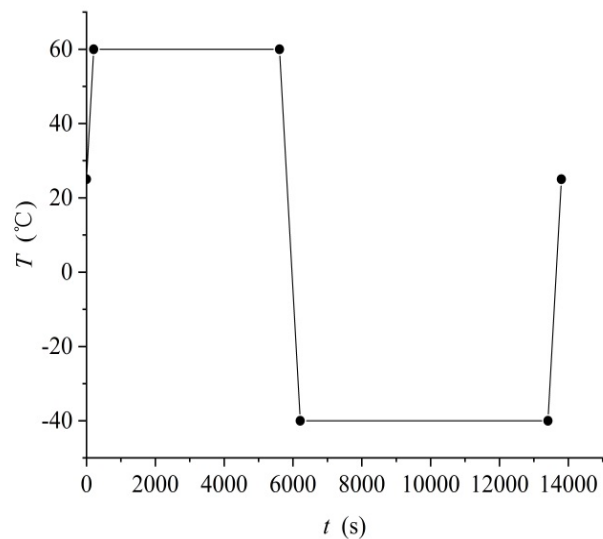
1、瞬态热力耦合仿真流程



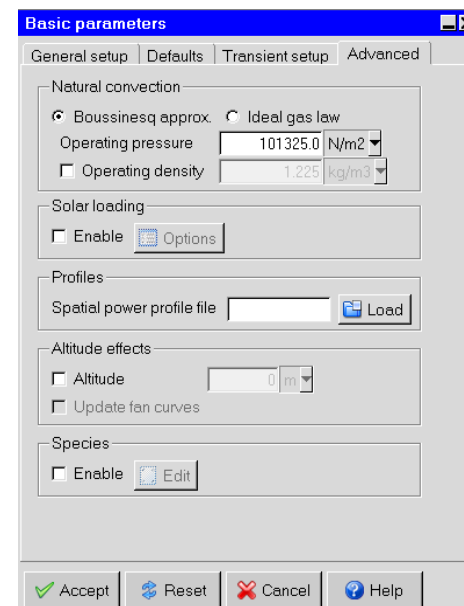
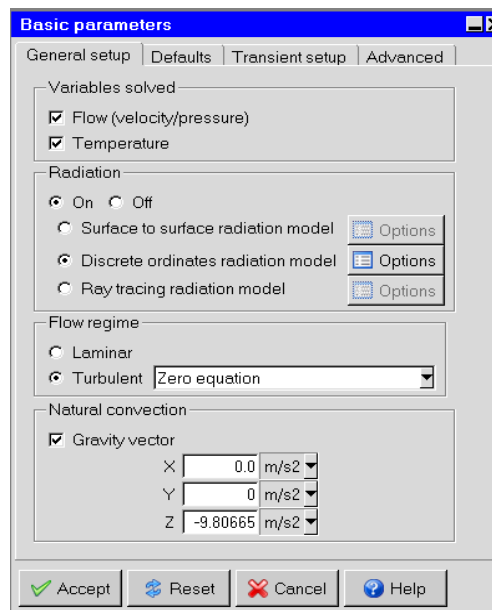
2、Icepak边界条件

在Icepak中将温循环境的温度变化作为边界条件进行设置

温循加载随时间变化



自然对流散热设置



2、Icepak边界条件

瞬态时间步长设置

The image shows the 'Basic parameters' dialog box in Icepak, with the 'Transient setup' tab selected. The 'Time variation' section has 'Transient' selected. The 'Start' time is 0.0 s and the 'End' time is 13800 s. The 'Solution initialization' section shows 'X velocity', 'Y velocity', and 'Z velocity' all set to 0.0 m/s, and 'Temperature' set to 'ambient'. The 'Transient parameters' sub-dialog is open, showing 'Time step' as 10 s, 'Time step function' as 'Piecewise constant', and 'Solution save interval' as 10. The 'Piecewise constant time-step parameters' sub-dialog is also open, showing a table of time-step values.

Piecewise value pairs (time time-step)	
0	15
210	15
5610	150
6210	15
13410	150
13800	15

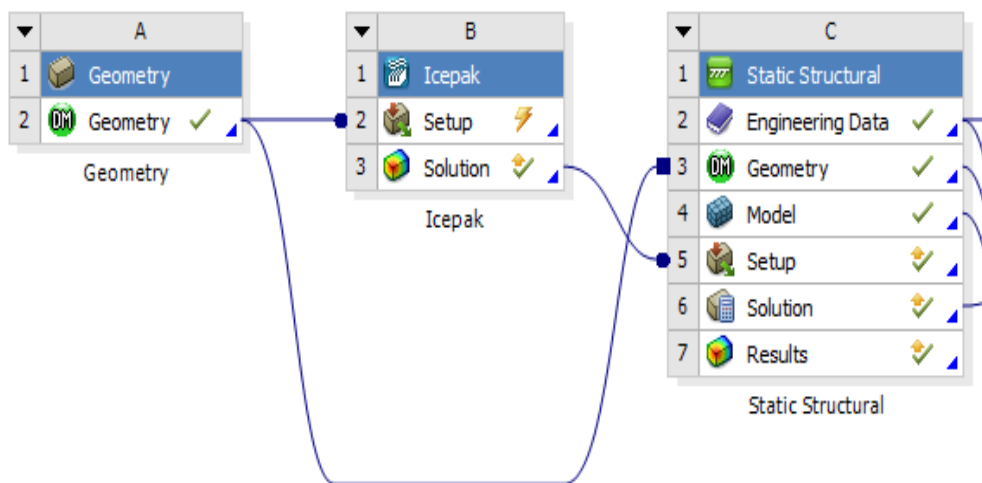
瞬态环境温度设置

The image shows the 'Basic parameters' dialog box in Icepak, with the 'Transient setup' tab selected. The 'Ambient conditions' section shows 'Temperature' set to 25 C, 'Gauge Pressure' set to 0.0 N/m2, and 'Radiation temp' set to 25 C. The 'Default materials' section shows 'Default fluid' as 'Air', 'Default solid' as 'Al-Extruded', and 'Default surface' as 'Steel-Oxidised-surface'. The 'Transient temperature' sub-dialog is open, showing 'Type' as 'Piecewise linear'. The 'Curve specification' sub-dialog is also open, showing a table of time / multiplier pairs.

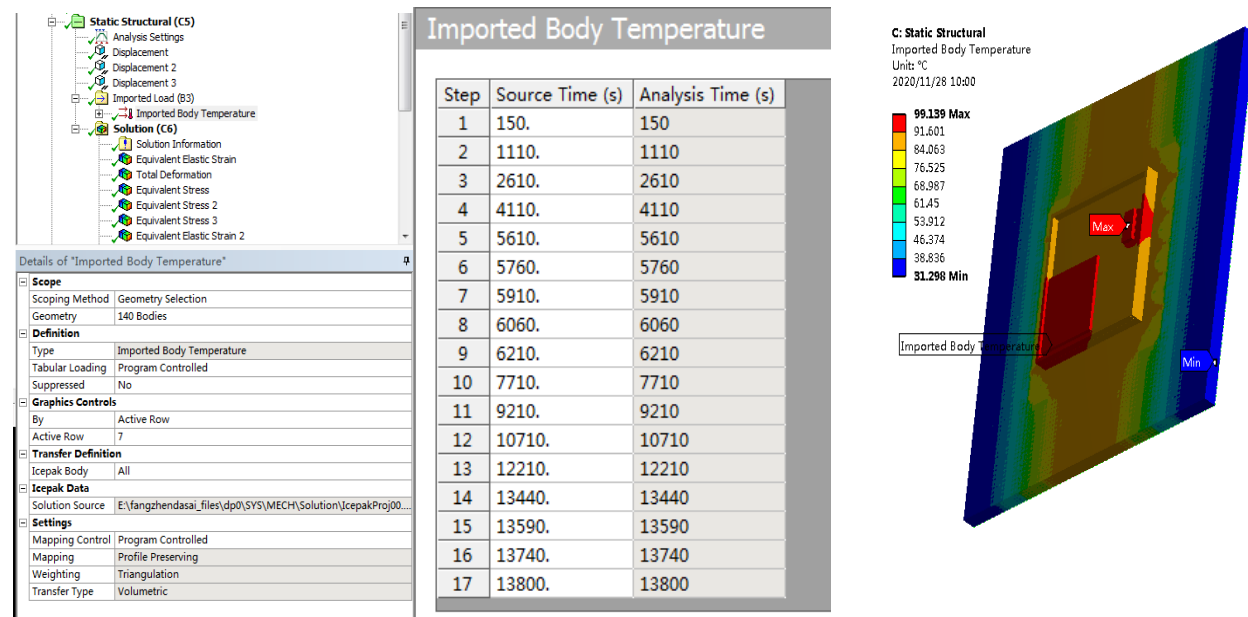
Curve specification	
0	1
210	2.4
5610	2.4
6210	-1.6
13410	-1.6
13800	1

3、Mechanical边界条件

热力耦合Workbench平台连接



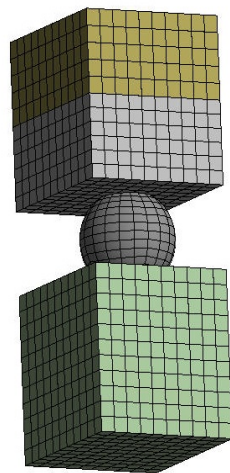
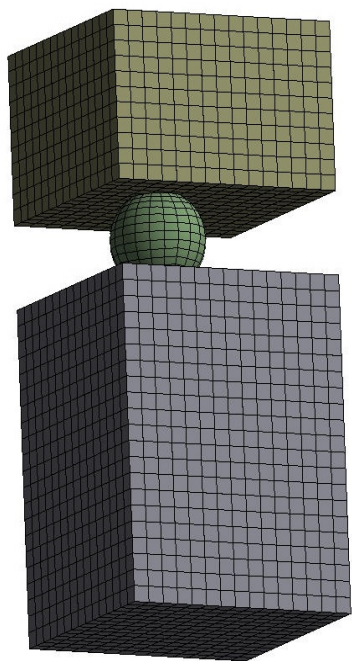
Icepak热载荷导入设置



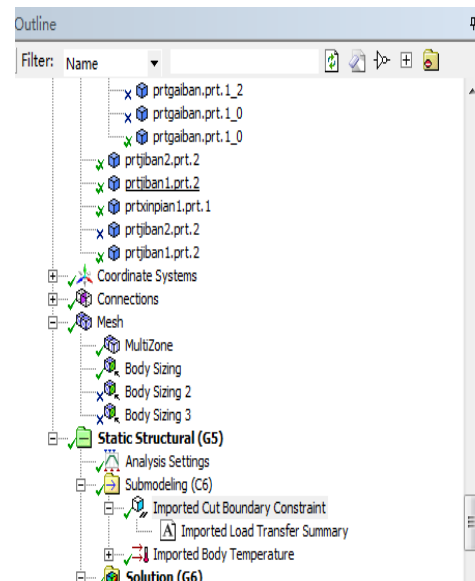
2、子模型仿真设置

在有限元分析时，对于关心的重点区域，由于网格稀疏不能得到满意的结果，而这些区域之外的部分，网格数量已经足够。采用子模型可以得到模型部分区域更加精确的解，有效解决这个问题。

子模型的网格

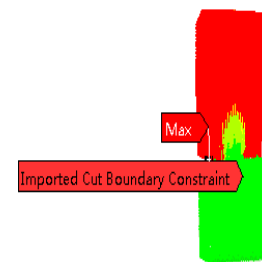


子模型的边界条件设置



G: Copy of Static Structural
Imported Cut Boundary Constraint
Unit: mm

0.062288 Max
0.056694
0.0511
0.045507
0.039913
0.03432
0.028726
0.023132
0.017539
0.011945 Min



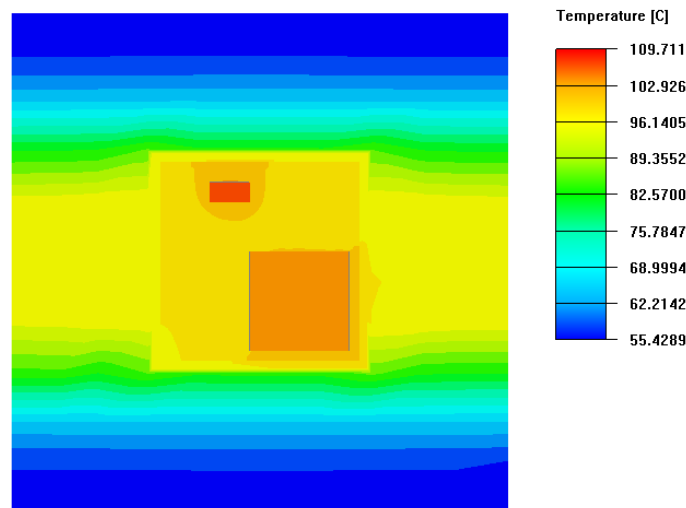
五、结果讨论



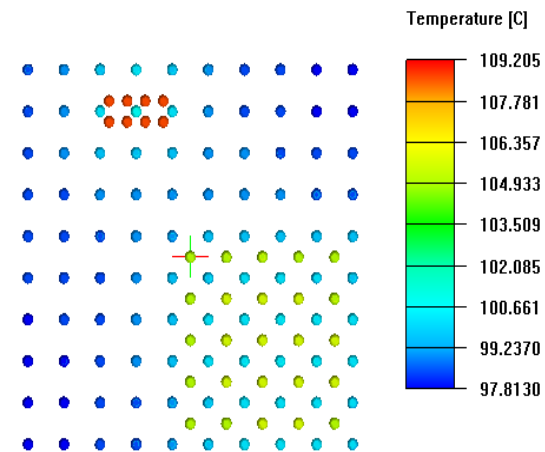
1、热仿真结果分析

右上两图中芯片A的温度最高，同时导致与芯片A接触的焊球温度最高，芯片A最高温度为109.711℃，焊球最高温度为109.205℃。右下两图为BGA封装器件整体最低温度云图和焊点最低温度云图，此时芯片A温度为26.51℃，焊球最高温度26.02℃。芯片本身的热流密度导致芯片的温度高于其他结构件的温度。

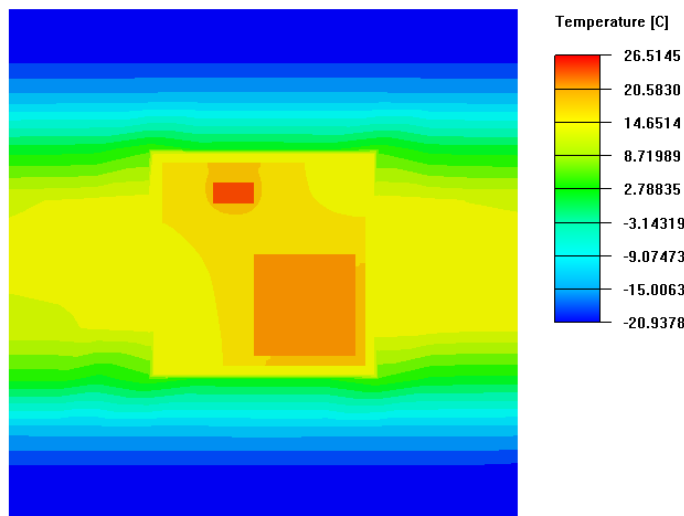
BGA封装器件整体最高温度云图



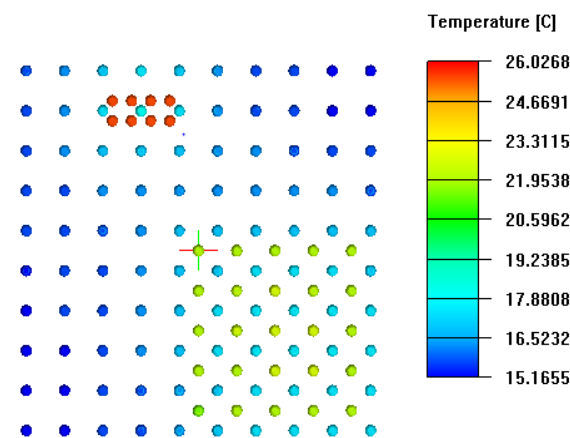
BGA封装器件焊点最高温度云图



BGA封装器件整体最低温度云图



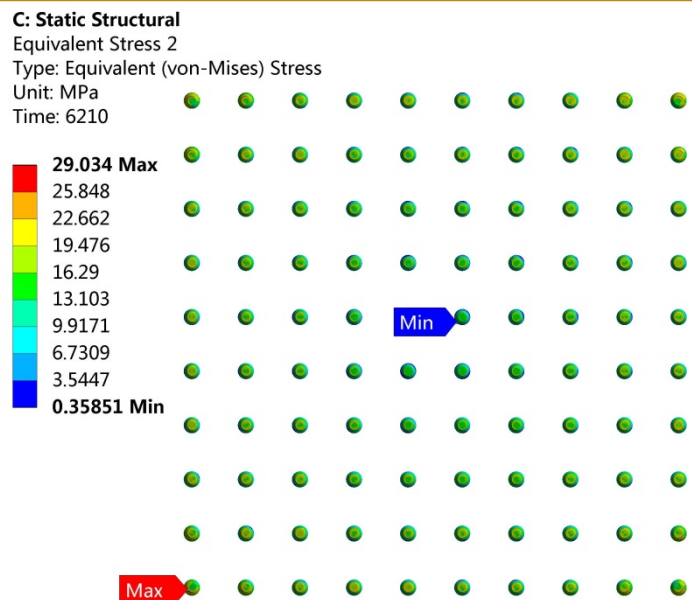
BGA封装器件焊点最低温度云图



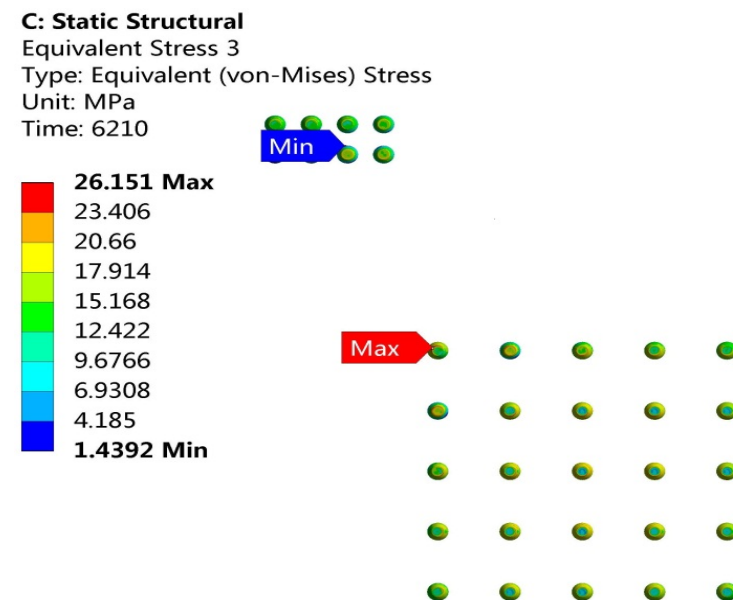
2、热应力结果分析

基板焊点层在6210s时的最大应力29.034MPa，器件焊点层在6210s时的最大应力为26.151MPa，器件焊点层的最大热应力小于基板焊点层的最大热应力。同时应力最大点出现在焊点的温度最低处，其最小应力处于焊点温度最高处。

6210s时基板焊点层的应力分布



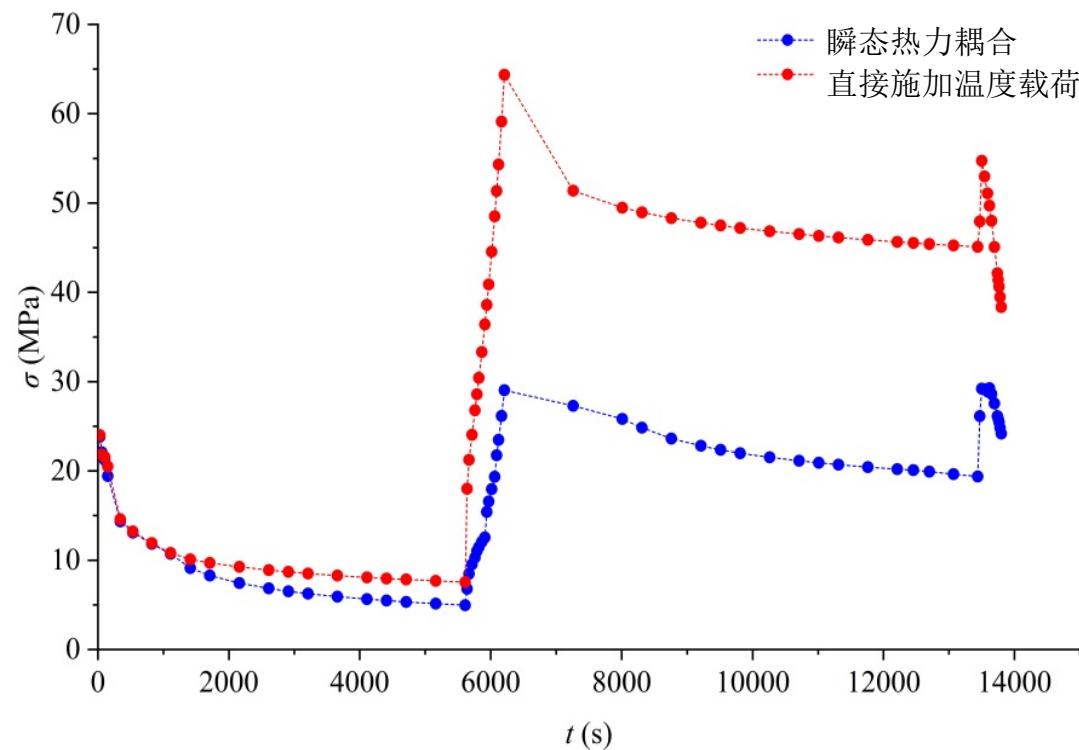
6210s时器件焊点层的应力分布



3、应力对比分析

在高温阶段，直接施加温度载荷的焊点最大应力与瞬态热力耦合的焊点最大应力相差不大，最大应力相差2.57MPa；但在低温阶段，直接施加温度载荷的焊点最大应力远大于瞬态热力耦合的焊点最大应力，最大应力相差35.34MPa。稳态热力耦合没有考虑元器件的发热功率及温度变化，导致焊点的温度偏低，其焊点最大应力大于瞬态热力耦合焊点的最大应力。

瞬态热力耦合与直接施加温度载荷的焊点最大应力变化



4、子模型仿真分析

焊点的应力较大的区域集中在焊球的上下两个界面上，其中最大应力出现在焊点与陶瓷基板的连接处，此处是焊球的薄弱环节，焊球裂纹将最先在此处产生、扩展，最后因断裂而失效。子模型基板焊点层焊点的最大应力为32.32MPa，整体模型基板焊点层的最大应力29.03MPa。两者应力变化趋势一致，但子模型由于网格更细，准确度提高，其应力结果偏高。

子模型基板焊点层的焊点应力分布

G: Copy of Static Structural

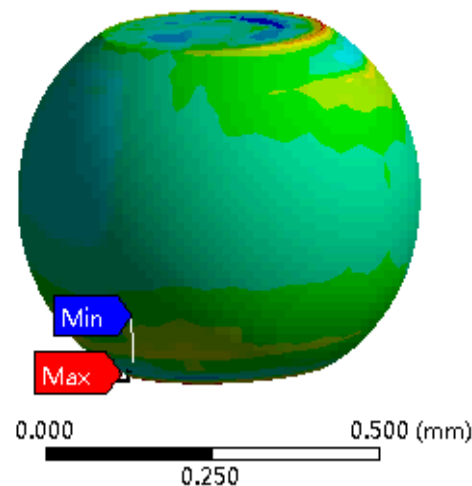
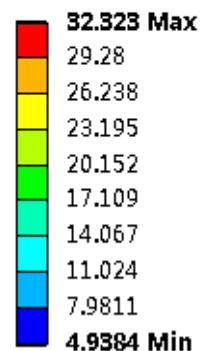
Equivalent Stress 2

Type: Equivalent (von-Mises) Stress

Unit: MPa

Time: 6210


2020/12/5 9:43



5、总结

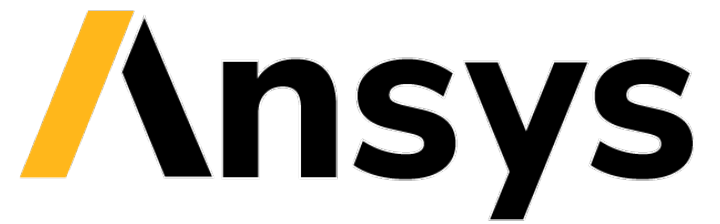
本文围绕封装器件的热力耦合问题，选取典型BGA封装器件，研究其焊点在温循条件下瞬态热力耦合力学行为。得到以下结论：

1. 瞬态热力耦合考虑因素比直接施加温度载荷更加全面，在高温阶段，稳态热力耦合的焊点最大应力与瞬态热力耦合的焊点最大应力相差不大；但在低温阶段，稳态热力耦合的焊点最大应力远大于瞬态热力耦合的焊点最大应力。
2. 焊点的全模型显示其最大应力为29.034 MPa，子模型由于网格更细，准确度提高，最大应力结果高于全模型，为33.82MPa。
3. 焊点的应力分布与实际情况类似，应力较大的区域集中在焊球的上下两个界面上，焊球裂纹也最可能在此处产生及扩展。




谢谢

THANKS



Ansys



The image features the Ansys logo on the left, which consists of a yellow slanted bar followed by the word "Ansys" in a bold, black, sans-serif font. To the right of the logo is a large, stylized graphic of the letter 'A'. This 'A' is formed by a yellow parallelogram on the left and a black triangle on the right, both slanted to create a sense of depth and movement.