

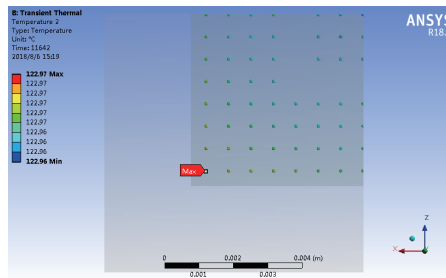
为 $1.99 \times 10^{-2} \text{m}$ ，最小值为 $0.99 \times 10^{-2} \text{m}$ ，呈周期性变化，等效塑性应变范围为 $1 \times 10^{-2} \text{m}$ ，但从第四周期开始呈增大的趋势。BGA焊球整体剪切弹性应变见图14。

(2) 不同结构

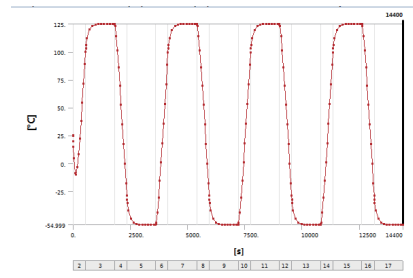
通过仿真得到了BGA及焊球的温度场，温度分布情况如图15(a)，温度随时间历程如图15(b)，结构2在工况2下，升温阶段最高温度仍然在最外围焊球拐角处。

从图16可以看出，结构2整体变形量呈周期性变化，四个循环中最大值为 $2.3395 \times 10^{-5} \text{m}$ 。

工况2条件下，结构2整体塑性应变如图17，整体呈减小趋稳的趋势，取第3周期最大值为 $1.64 \times 10^{-2} \text{m}$ ，最小值为 $0.937 \times 10^{-2} \text{m}$ ，呈周期性变化，等效塑性应变范围为 $0.703 \times 10^{-2} \text{m}$ ；工况2条件下，结构1焊球整体的等效塑性应变范围为 $1 \times 10^{-2} \text{m}$ ，但从第四周期开始呈增大的趋势。焊球剪切弹性应变见图18。



(a) 焊球温度分布



(b) 温度随时间历程

图11 BGA焊球温度分布及温度随时间历程

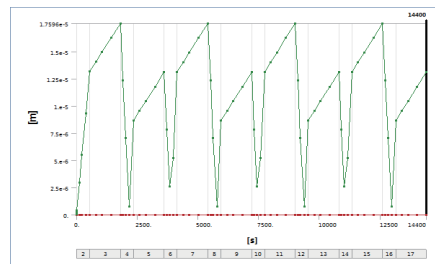


图12 结构1整体变形量 (工况1, Total Deformation)

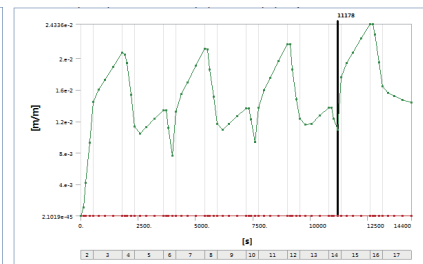


图13 结构1焊球等效塑性应变 (Equivalent Plastic Strain)

(3) 焊点疲劳寿命的评估

热循环下BGA组件焊球会产生热疲劳，焊球受热时温度形成不均匀的分布，形成交变剪切应力最终使焊点失效，即为低周疲劳失效。另外热应力

形成低周疲劳寿命，并且考虑热循环频率、温度对其的影响，由 Engelmaier 修正的Coffin-Manson关系式给出。其需要表达的公式如下所示：

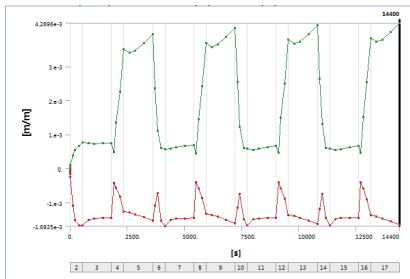
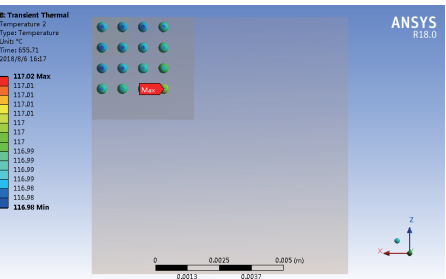
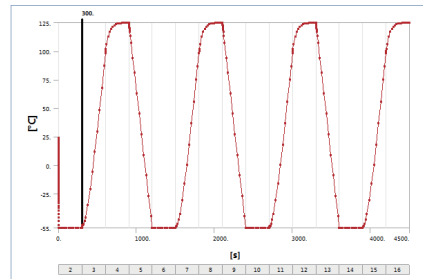


图14 结构1焊球剪切弹性应变 (Shear Elastic Strain)



(a) 焊球整体温度分布



(b) 温度随时间历程

图15 结构2在工况2下的焊球温度分布情况及温度随时间的变化历程

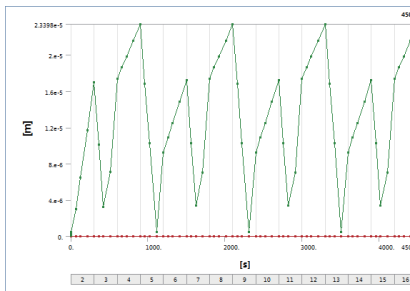


图16 结构2整体变形量 (工况2, Total Deformation)

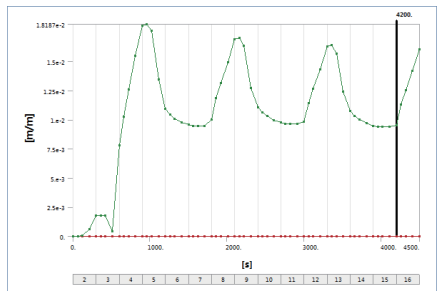


图17 结构2焊球等效塑性应变 (Equivalent Plastic Strain)

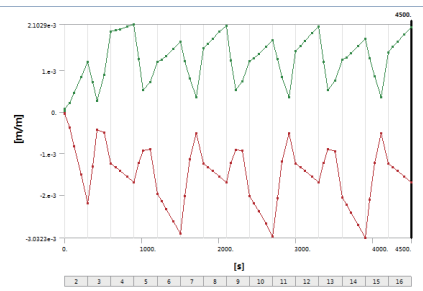


图18 焊球剪切弹性应变 (Shear Elastic Strain)