

## 车轴扫描感应淬火仿真（一）

赛普克CAE有限元 2020-02-12

长度较长的大直径车轴热处理工艺一般采用扫描感应淬火的方式，通过感应加热，迅速达到材料的奥氏体化温度，使其表面硬化，然后对车轴进行淬火，形成马氏体，使表面比基材更加坚硬，并处于理想的压应力状态，感应器的设计取决于加热部位的几何形状以及所需的硬化层深度。预测最终的应力状态以及整个过程中的尺寸变化十分重要，以确保车轴满足所有的性能要求。使用DANTE热处理模拟软件，可以预测感应淬火过程的过程中和最终应力、位移、金相分数和硬度，从而调整工艺过程以达到预期的效果。

本文采用DANTE热处理仿真软件模拟全浮式卡车车轴扫描感应淬火过程，研究淬火速率的改变对最终应力状态和变形的影响，以及改变化学成分和含碳量来改变材料对最终应力状态的影响。

### 研究对象

轴长1008mm，直径34.93mm，一端为法兰，一端为35齿花键，如图1所示。

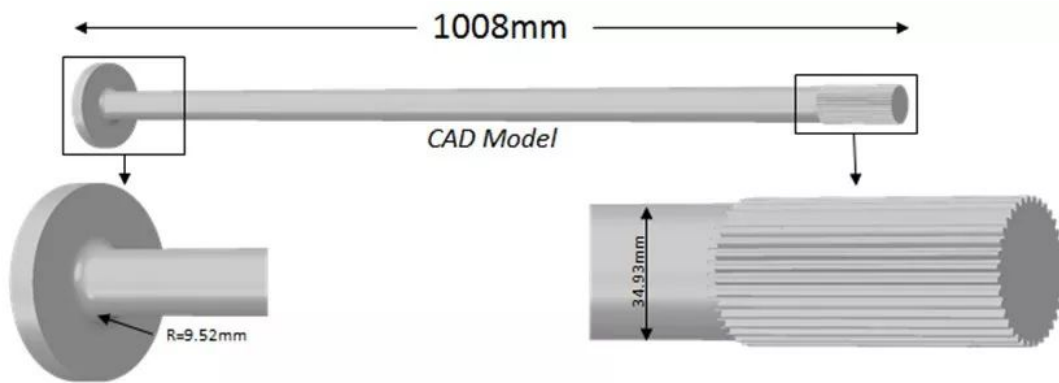


图1 车轴模型

### 有限元模型

车轴为轴对称模型，因此取包含所有特征的一定角度的扇面模型进行网格划分，有限元模型如图2所示。

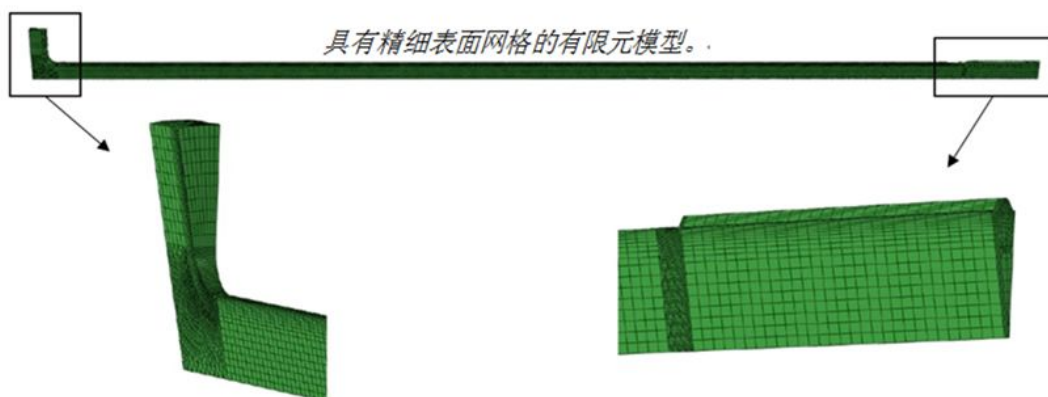


图2 有限元模型

### 感应淬火工艺过程

1. 感应器在法兰端停留9s，进行加热。
2. 感应器以每秒12mm/s的速度向上移动1.5s。
3. 感应器减速至8mm/s，然后在加热后区域开始喷冷却液淬火。感应器在花键附近停止，以防止过热。
4. 关闭感应器后，花键端在空气中冷却60s，总处理时间为190.15s。

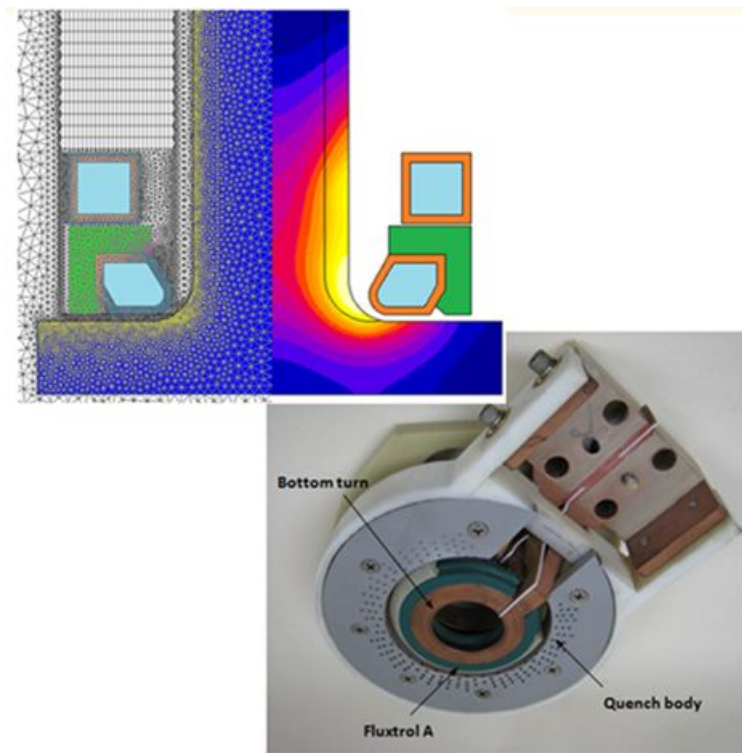


图3 感应器实物图及电磁场计算模型

### 计算结果分析

在9s初始加热停留结束时，法兰圆角处的表面温度达到1025℃。奥氏体已在圆角处形成，并沿车轴向上部分形成。当初始相转变为奥氏体时，环向应力表现为法兰圆角下为压应力，就在加热区前面的尖角区域存在拉应力。由于热膨胀，位移呈现出一些径向和轴向的增长，如图4所示。

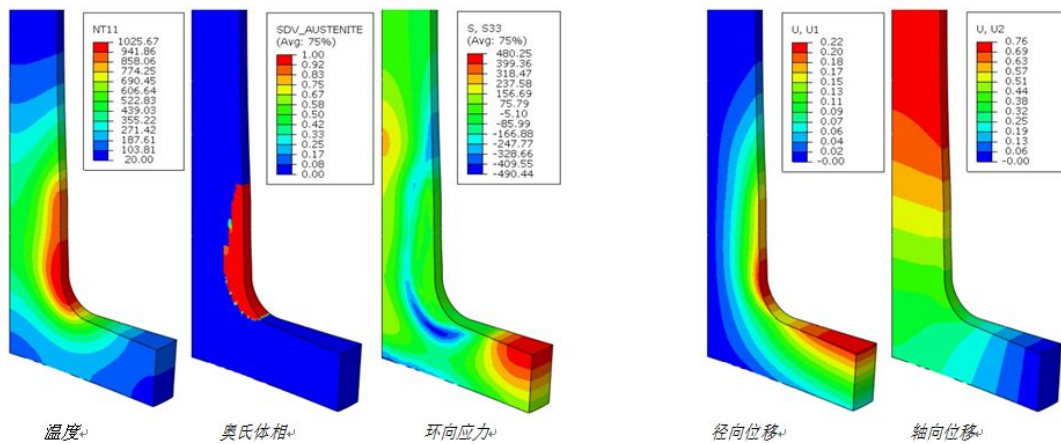


图4 在9s时计算结果

在整个感应淬火过程的16.5s时，感应器以8mm/s的速度向上移动，随后是喷液冷却过程。奥氏体相被迅速淬火，在法兰角及以上部位形成马氏体，导致马氏体相体积膨胀而产生压应力，拉应力位于马氏体层之下，这是相变的结果，过程中的位移在轴向和径向上都是由热膨胀引起的，如图5所示。

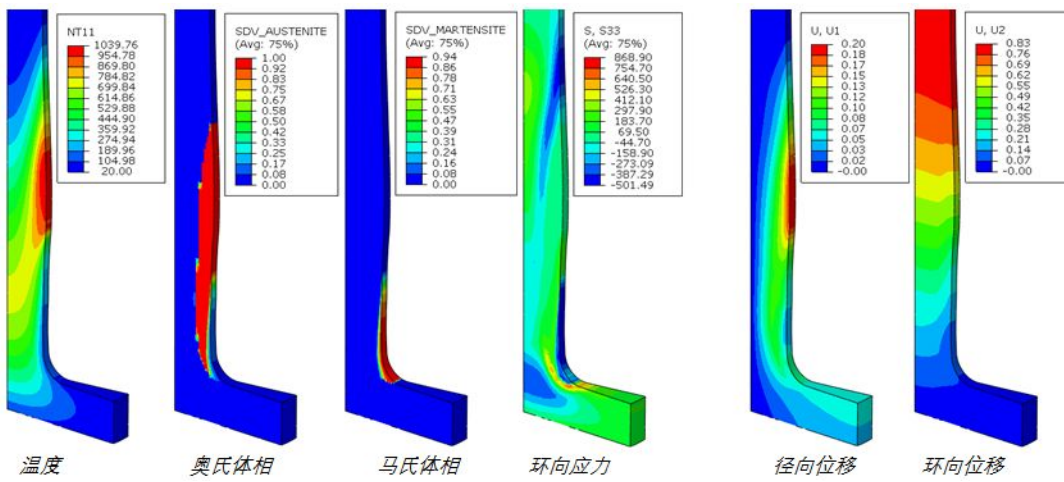


图5 在16.5s时计算结果

总处理时间130.15s后，关闭感应器，防止花键端过热。花键齿的温度为1040℃。一些热量会传导到花键的核心，然后慢慢冷却，将这个区域的表面压缩。环向应力曲线显示，在完全转变的马氏体区域内，表面受压应力，而在硬化层下则出现拉应力。轴向位移继续增大，虽然其中一部分是残余热膨胀，但随着部分恢复热平衡，其大小有所减小，如图6所示。

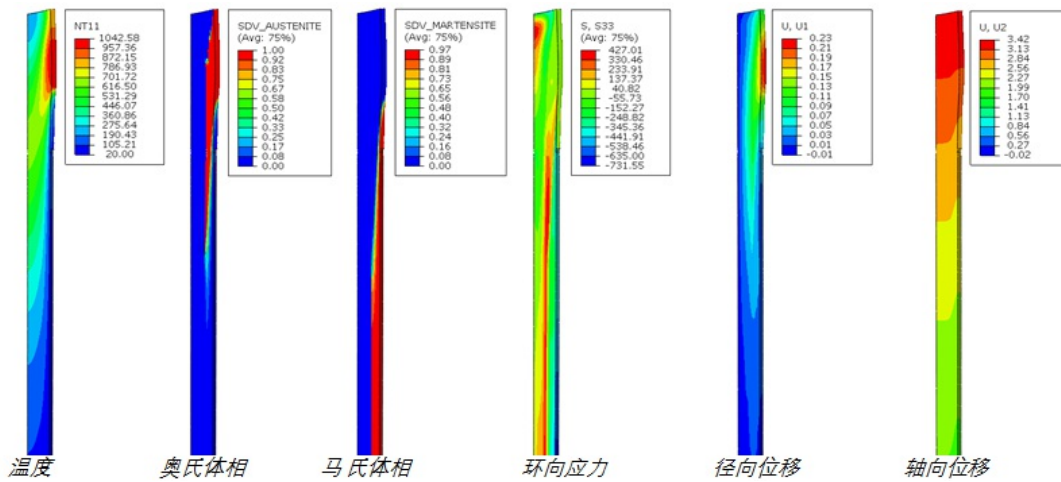


图6 在16.5s时计算结果

下图为感应淬火过程最终残余应力状态。轴向应力表现为沿轴向长度的表面压应力，在靠近法兰轴轴内部的拉应力最大，达到820MPa，容易产生断裂。环向应力结果与轴向应力相似，表现为表面压应力和内部拉应力，但与轴向应力相比，数值较低。

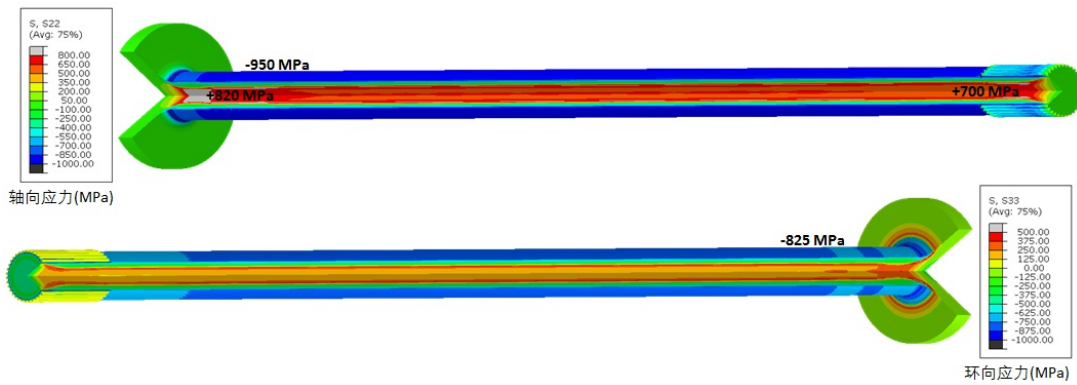


图7 感应淬火最终残余应力状态

车轴经过感应淬火内部产生较大拉应力，存在断裂的风险，究其原因，可能是喷液冷却速率过快导致，下一章中，我们将研究淬火速率的改变对最终应力状态和变形的影响，敬请期待。