

Simulation Research on Heat Treatment Process of Copper Cooling Coil Based on Deform Software

Xiaoli Liu¹, Licheng Zhou¹, Juncheng Zhou²

¹School of Energy Engineering, Yulin University, Yulin Shaanxi

²State Grid Bai Yin Electric Power Company, Baiyin Gansu

Email: shantianzi@126.com

Received: Jul. 30th, 2020; accepted: Aug. 13th, 2020; published: Aug. 20th, 2020

Abstract

In this paper, the finite element analysis software deform is used to simulate the heat treatment annealing process. In order to obtain the relevant detailed data during the annealing process, the temperature and stress distribution curve of the heat treatment process verified the feasibility of the process, and the feasibility of the computer numerical simulation was further analyzed in detail, which provided a reference basis for the actual heat treatment production and improved the actual production efficiency, shorten the production cycle, and better control the production process.

Keywords

Red Copper, Simulation, Stress Distribution, Annealing Treatment

基于Deform软件的铜冷线圈热处理工艺的模拟研究

刘孝丽¹, 周利成¹, 周军成²

¹榆林学院能源工程学院, 陕西 榆林

²国网白银供电公司, 甘肃 白银

Email: shantianzi@126.com

收稿日期: 2020年7月30日; 录用日期: 2020年8月13日; 发布日期: 2020年8月20日

摘要

本文利用有限元分析软件deform, 对热处理退火工艺过程进行模拟计算。从而获得退火过程中的相关细

节数据, 通过热处理过程的温度和应力分布曲线图, 验证了工艺的可行性, 进一步详细分析了计算机数值模拟仿真的可行性, 为实际生产提供了参考依据, 提高了实际生产效率, 缩短生产周期, 更好的控制生产工艺过程。

关键词

紫铜, 模拟仿真, 应力分布, 退火处理

Copyright © 2020 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

紫铜因具有优良的导热性、延展性和耐蚀性被用来制造导电、导热并兼有耐蚀的器件, 广泛应用于航空航天、机械、电气、化工及制冷等领域, 尤其在冷却行业备受青睐。工业生产中, 大部分工控设备的变压器在工作状态下需冷却处理, 而紫铜管因其优良的导热性能便被广泛使用[1] [2]。在冷却换热系统加工过程中, 紫铜圆管经过冷加工后, 材料塑性变差, 硬度变高以及内应力也会相应增加, 这对后期应用及其不利, 为安全使用需对紫铜圆管进行相关热处理。传统的热处理工艺验证周期长、成本高, 不能满足零件加工的需求, 为此, 采用模拟软件进行工艺模拟验证, 方便制定合理的热处理工艺, 提高生产效率[3] [4] [5] [6]。本文研究铜冷线圈装置样品的去应力退火模拟仿真。

2. 铜冷线圈的模型设置

2.1. 线圈设计

铜冷线圈以紫铜为材料, 通过模具绕线加工而成, 实际样品主要用于感应加热变压器的冷却, 如图 1 所示。考虑到模拟运算的繁冗性以及复杂性, 结合实际样品热处理单元的对称性, 截取其中的部分圆管作为仿真对象, 如图 2 所示, 通过三维建模软件 solidworks 建立铜冷线圈仿真模型, 将其存储为复合模拟软件的 STL 格式, 利用模型导入进行模拟计算[7] [8] [9] [10]。

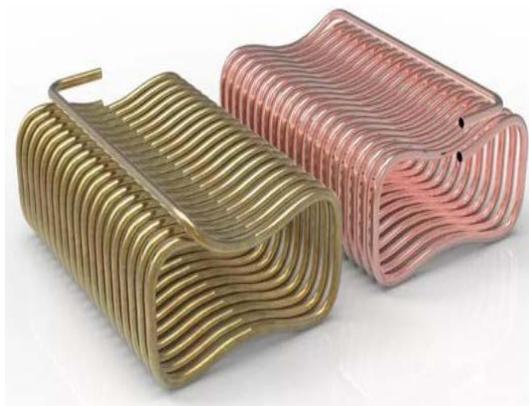


Figure 1. Overall structure diagram of copper cold coil sample

图 1. 铜冷线圈样品整体结构图

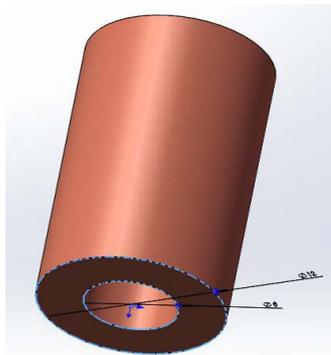


Figure 2. Part of the round tube in copper cold coil

图 2. 铜冷线圈中部分圆管形状图

2.2. 实际热处理工艺条件

本文研究的铜冷线圈结合其材料属性以及工作条件要求，在使用前要去掉其加工引起的内应力，所以要求对整个线圈模型进行去应力退火，具体工艺条件如下：

1) 结合材料的热物理性能，参考《热处理手册》选取铜冷线圈去除加工应力的热处理退火温度为 620°C ；温度每小时增加 80°C ，逐渐由室温加到 620°C 。

2) 铜冷线圈退火保温时间的确定主要参考经验公式 1，如下：

$$t = 30 + A(D - 2)(\text{min}) \quad (1)$$

式中 t ——保温时间(min)； A ——加热系数，一般取 $4\sim 6 \text{ min/mm}$ ； D ——零件的有效厚度。将相关参数带入公式 1，得出热处理热保温时间可选取为 60 min 。

3) 实际加工冷却介质直接选用水冷。具体铜冷线圈热处理工艺过程如图 3 所示。

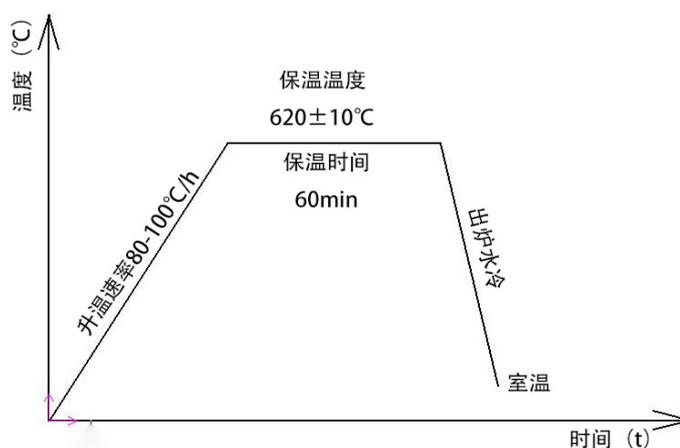


Figure 3. Process diagram of heat treatment process

图 3. 热处理过程工艺图

3. 仿真模拟过程

3.1. 模拟过程数据生成

铜冷线圈仿真选取模块中的热模拟模块，然后新建一个数据名称，材料选为 CuC2_Copper ，设置相

应的材料热物理参数，导入已建好的铜冷线圈物理模拟模型如图 4 所示，然后对模型进行均匀化网格划分以及切片处理。

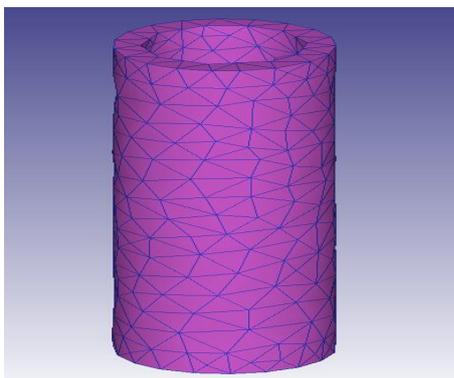


Figure 4. Meshed model 1
图 4. 网格化模型

3.2. 模拟边界条件的加载

参考实际热处理条件，开始样品由于处在室温条件，所以初始温度设置为 25℃，加热方式选择为热辐射，温度从室温逐渐变化，每小时增加 80℃，增加到 620℃之后，保温 60 min；然后取出样品放入冷却介质水里，冷却时间为 20 min。

3.3. 模拟数据提取设置

研究为了获取铜管内外不同位置的温度和应力分布情况变化，根据对称性，进一步使用剖切工具将铜管对称剖切。然后分别在铜管的内壁面、中间、外表面设置三个数据追踪点，分别按次序标记为 P1、P2、P3，如下图 5 所示，用于分析不同温度条件状态下、不同部位数据以及相关变化趋势。

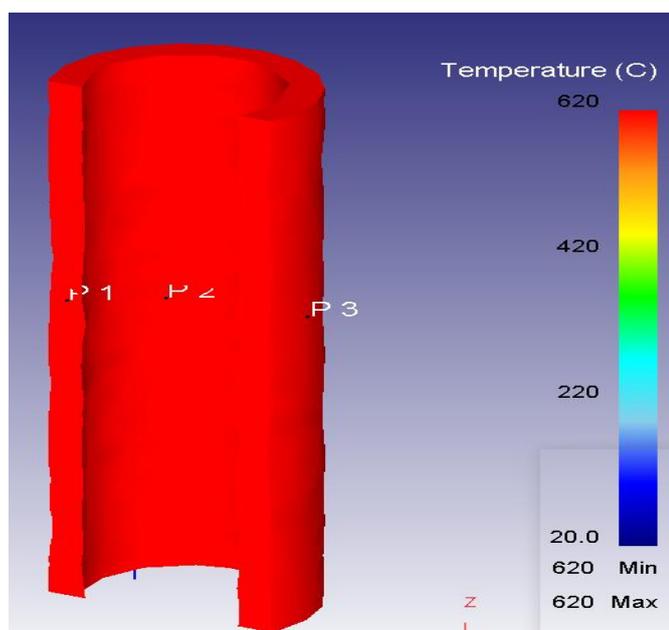


Figure 5. Data tracking point diagram
图 5. 数据追踪点示意图

4. 模拟结果分析

4.1. 铜管温度变化分析

在铜管热处理模拟过程中，随着炉温的不断升高，工件温度逐渐由 20℃ 升高至 620℃，并且是从内外表面向中间逐渐加热的过程，由于铜管厚度为 6 mm，导热系数高，高温保温时间 60 min，所以铜管全部温度都加热为 620℃，通过加热保温消除前期样品冷加工产生的内应力。实际样品铜管在经过加热后，表面会产生部分氧化皮，通过出炉水冷，可以有效的去除表面氧化皮，同时将铜管工件温度由表层到内逐渐降至室温如图 6。

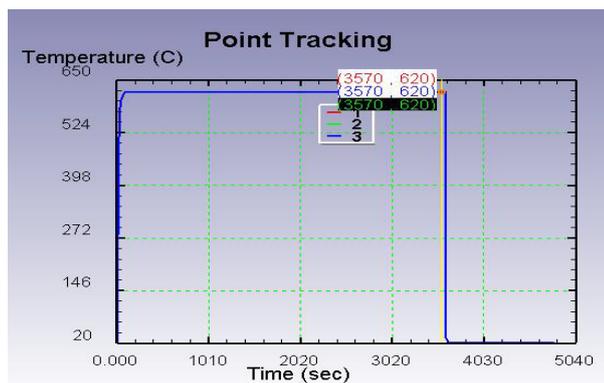


Figure 6. Temperature curve
图 6. 温度变化曲线图

4.2. 铜管应力分布

根据模拟结果，对铜管剖切面的内表面至外表上定义的追踪点 P1、P2、P3 进行应力分析，在第一阶段加热保温过程中，中间点的应力最大为 0.306 MPa，内表面为 0.247 MPa，外表面为 0.244 MPa，铜管剖切面上的内外表面三个部位等效应力同步变化，到 3600 秒入水瞬间得到最大应力如图 7~8。由以上分析可知，铜管线圈在出炉冷却过程中，管壁心部位置为最大应力集中点。紫铜的应力值范围为 0.1~1 MP，对比分析，铜管模拟结果显示的最大应力值在材料的允许应力范围之内，因此，紫铜管用常温状态下的水冷却，不会造成铜管的开裂等缺陷。

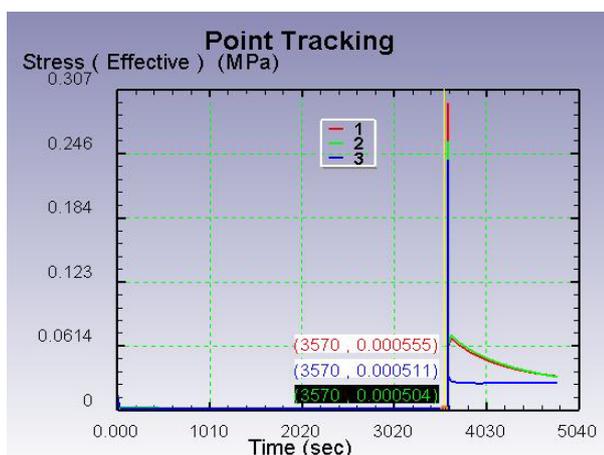


Figure 7. Equivalent stress curve
图 7. 等效应力曲线图

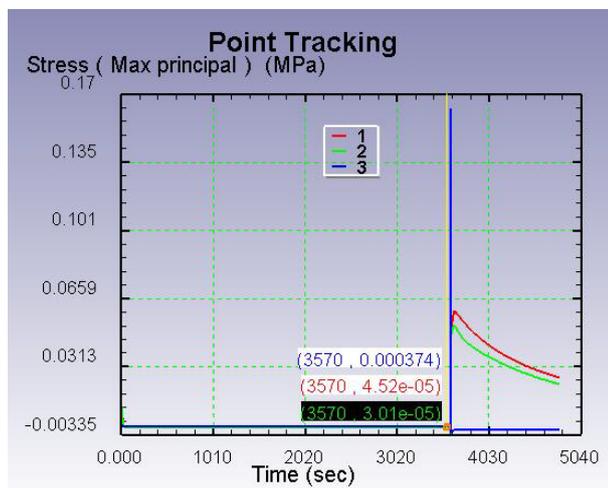


Figure 8. Maximum stress curve

图 8. 最大应力曲线图

5. 结论

铜管冷却线圈去应力退火进行了仿真模拟，通过模拟分析样品不同位置的温度分布以及应力分布，验证了退火工艺温度从室温到 620℃，最高温度保持 60 min，冷却介质为室温水，冷却时间 20 min 边界条件的可行合理性，实现了利用仿真模拟软件对冷却线圈去应力退火工艺的有效验证，确定了工艺的可行性，为实际生产提供了便利条件，提高生产效率。

参考文献

- [1] 李廷平. 小弯头铜管制备工艺及塑性成形规律研究[D]: [硕士学位论文]. 赣州: 江西理工大学, 2016.
- [2] 刘阳. ACR 铜管加工工艺与质量缺陷的研究[D]: [硕士学位论文]. 沈阳: 沈阳理工大学, 2017.
- [3] 岑晓燕, 钟武波. 模拟焊后消应力热处理样坯尺寸对厚板力学性能的影响[J]. 宝钢技术, 2020(2): 40-43.
- [4] 刘婷, 王巍, 谢景洋, 施静敏. 30NiCrMoV12 金属轴承锻件热处理过程数值模拟研究[J]. 世界有色金属, 2020(4): 1-3.
- [5] 周云飞, 刘波. 真空热处理温度场数值模拟研究[C]//北京力学会: 北京力学会第 26 届学术年会论文集. 北京: 北京力学会, 2020: 808-810.
- [6] 周利成, 刘孝丽, 李天鹏, 张桐, 钟浩. 工艺模拟仿真系统在热处理生产中的应用研究[J]. 榆林学院学报, 2020, 30(2): 46-49.
- [7] 张睿, 左正, 高蕾, 李达. TA15 长梁锻件热处理过程温度场模拟研究[J]. 大型铸锻件, 2020(4): 18-19.
- [8] 赵伟平, 刘江涛, 贾倩. 基于 Deform 的齿轮泵从动齿轮轴闭式模锻数值模拟分析[J]. 热加工工艺, 2020, 49(13): 93-95+99.
- [9] 俞彦勤. 金属塑性体积成形模拟仿真实验[J]. 科技创新与应用, 2019(36): 15-17.
- [10] 张亮亮, 王希靖, 李德福, 杨小娟. 基于 DEFORM-3D 的 FSW 温度场及流场数值模拟[J]. 兰州理工大学学报, 2019, 45(6): 6-10.