

12357e

证书号第2796723号



# 发明专利证书

发明名称：基于数值模拟技术的高强钢淬火工艺优化方法

发明人：申刚；顾剑锋；张天德；唐丽娜

专利号：ZL 2016 1 0032619.X

专利申请日：2016年01月19日

专利权人：上海交通大学；上海航天设备制造总厂

授权公告日：2018年01月30日

本发明经过本局依照中华人民共和国专利法进行审查，决定授予专利权，颁发本证书并在专利登记簿上予以登记。专利权自授权公告之日起生效。

本专利的专利权期限为二十年，自申请日起算。专利权人应当依照专利法及其实施细则规定缴纳年费。本专利的年费应当在每年01月19日前缴纳。未按照规定缴纳年费的，专利权自应当缴纳年费期满之日起终止。

专利书记载专利权登记时的法律状况。专利权的转移、质押、无效、终止、恢复和专利权人的姓名或名称、国籍、地址变更等事项记载在专利登记簿上。



局长  
申长雨

申长雨





# (12)发明专利

(10)授权公告号 CN 105586476 B

(45)授权公告日 2018.01.30

(21)申请号 201610032619.X

(22)申请日 2016.01.19

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 105586476 A

(43)申请公布日 2016.05.18

(73)专利权人 上海交通大学

地址 200240 上海市闵行区东川路800号

专利权人 上海航天设备制造总厂

(72)发明人 申刚 顾剑锋 张天德 唐丽娜

(74)专利代理机构 上海交达专利事务所 31201

代理人 王毓理 王锡麟

(51)Int.Cl.

G21D 6/00(2006.01)

G21D 1/18(2006.01)

(56)对比文件

CN 101921907 A, 2010.12.22,

CN 103484646 A, 2014.01.01,

CN 103544356 A, 2014.01.29,

CN 104331574 A, 2015.02.04,

CN 104046762 A, 2014.09.17,

DE 102005036068 A1, 2007.02.08,

王晓燕. 低压转子淬火工艺过程数值模拟的研究.《中国优秀硕士学位论文全文数据库·工程技术I辑》.2011, B022-37.

审查员 卫晓燕

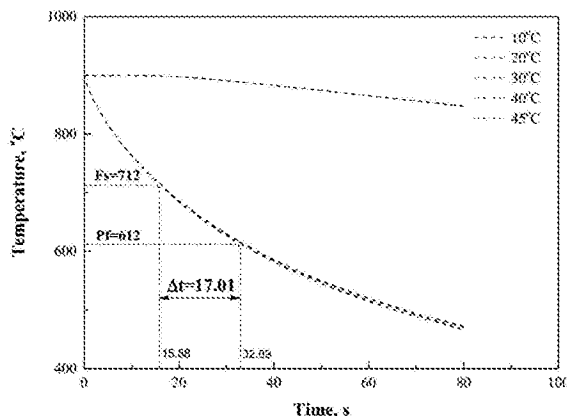
权利要求书1页 说明书3页 附图3页

(54)发明名称

基于数值模拟技术的高强钢淬火工艺优化方法

(57)摘要

一种基于数值模拟技术的高强钢淬火工艺优化方法,根据待处理材料的热物理性能参数、相变动力学参数以及冷却介质的换热系数作为初始条件和边界定义,利用有限元计算方法得出工件的温度场与相变场分布,并根据工件厚度类型确定预冷时间从而实现淬火工艺优化。本发明可以快速有效地确定高强钢淬火过程的预冷时间,提高其淬火工艺的可靠性与稳定性。



1. 一种基于数值模拟技术的30CrMnSiNi2A材质的轴承基座的淬火工艺优化方法,其特征在于,根据待处理材料的热物理性能参数、相变动力学参数以及冷却介质的换热系数作为初始条件和边界定义,利用有限元计算方法得出工件的温度场与相变场分布,并根据工件厚度类型确定预冷时间从而实现淬火工艺优化;

所述的热物理性能参数包括:密度、比热容、热导率;

所述的相变动力学参数是指:等温转变动力学参数;

所述的有限元计算方法,通过对工件淬火过程进行数值模拟分析,获取工件在热处理过程中各个部位的温度场与相变场分布数据,具体包括工件在冷却过程中其组织转变模型中冷却最快与最慢节点的温度与相变量历史曲线;

所述的预冷时间是指:当工件属于薄壁件,其淬火时预冷时间根据工件中冷却最慢的点的温度不低于铁素体转变开始温度;当工件属于厚壁件,其淬火时预冷时间根据工件中冷却最快的点的温度不低于铁素体转变开始温度。

2. 根据权利要求1所述的基于数值模拟技术的30CrMnSiNi2A材质的轴承基座的淬火工艺优化方法,其特征是,所述的有限元计算方法,采用有限元软件MSC.Marc实现。

3. 根据权利要求2所述的基于数值模拟技术的30CrMnSiNi2A材质的轴承基座的淬火工艺优化方法,其特征是,所述的组织转变模型是通过过冷奥氏体等温转变动力学曲线得出的,对于扩散型相变其转变量计算基于扩展的Avrami方程: $f = 1 - \exp(-b\tau^n)$ ,其中f表示新相的体积分数,b,n表示相变动力学常数, $\tau$ 表示等温时间;对于非扩散型马氏体相变,其转变量计算基于经典的K-M方程: $f_M = 1 - \exp[-\alpha_M \cdot (M_s - T)]$ ,其中: $f_M$ 表示马氏体体积分数, $\alpha_M$ 表示相变常数, $M_s$ 表示马氏体相变起始温度,T表示当前温度。

## 基于数值模拟技术的高强钢淬火工艺优化方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及的是一种钢铁行业热处理领域的技术,具体是一种基于数值模拟技术的高强钢淬火工艺优化方法。

### 背景技术

[0002] 传统工艺对预冷时间的确定往往是基于经验公式或实验测定。经验公式往往不针对具体材料与工件外形尺寸,对预冷时间的确定存在较大的偏差;而通过实测实验进行组织与变形验证效率较低,从而增加生产成本。另外对于不同厚度的工件,还没有一个标准的确定预冷时间的准则。

[0003] 预冷淬火是其预防裂纹和减小变形的方法之一,适用于淬透性好、奥氏体较稳定、临界冷却速率较低的钢材及厚薄悬殊、形状复杂且对变形控制要求较高的工件。对于奥氏体具有较长亚稳定区间的钢材,采用预冷淬火工艺,可以有效的减少淬火畸变的产生。传统工艺对预冷时间的确定往往是基于经验公式或实验测定。经验公式往往不针对具体材料与工件外形尺寸,对预冷时间的确定存在较大的偏差;而通过实测实验进行组织与变形验证效率较低,从而增加生产成本。另外对于不同厚度的工件,还没有一个标准的确定预冷时间的准则。

[0004] 工件热处理后的性能和变形状况主要取决于零件内部各部位的微观组织构成和表征以及残余应力/应变的分布。这些特征是热处理过程零件内部温度、组织、应力应变状态共同耦合作用和演化的结果,是一个极为复杂的过程。这些特征的变化规律是复杂的,且难于通过有限数量的工艺试验来充分掌握。

[0005] 热处理过程的数值模拟技术,能够借助少量的试验测试,实现工件热处理性能和变形的预测,已经成为热处理工艺研究中一项重要的辅助手段,近年来得以快速发展和广泛应用。通过数值模拟结合少量实物验证的方式可以较为快速的获取优化的热处理工艺,这样的工艺研究方式已得到广泛的验证。

[0006] 在零件热处理(淬火冷却)过程中,温度与组织存在相互影响的耦合作用,热处理中淬火过程的温度场可以由经典的热传导方程来描述:
$$\frac{\partial}{\partial x}(\lambda_x \cdot \frac{\partial T}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y}(\lambda_y \cdot \frac{\partial T}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z}(\lambda_z \cdot \frac{\partial T}{\partial z}) + Q = \rho \cdot C_p \cdot \frac{\partial T}{\partial \tau}$$
其中:T为温度; $\lambda_x$ 为x方向上的热导率;Q为内热源; $\rho$ 为密度; $C_p$ 为比热; $\tau$ 为时间。

[0007] 当发生组织相变时,会引发相变潜热。可以将此潜热看作为一种内热源加以处理,即有:
$$Q = \Delta H \cdot \frac{df}{dt}$$
其中: $\Delta H$ :单位潜热; $\frac{df}{dt}$ :单位时间内形成的新相体积分数。

### 发明内容

[0008] 本发明针对现有技术存在的上述不足,提出一种基于数值模拟技术的高强钢淬火工艺优化方法,利用有限元计算方法(FEM)计算得出工件的温度场与相变场分布,根据工件厚度类型确定预冷时间,通过采用计算机数值模拟技术对热处理工艺过程的温度场、应力应变场与组织场进行准确的预测,结合工件壁厚优化原则,可以快速有效地确定高强钢淬

火过程的预冷时间,提高其淬火工艺的可靠性与稳定性。

[0009] 本发明是通过以下技术方案实现的:

[0010] 本发明根据待处理材料的热物理性能参数、相变动力学参数以及冷却介质的换热系数作为初始条件和边界定义,利用有限元计算方法得出工件的温度场与相变场分布,并根据工件厚度类型确定预冷时间从而实现淬火工艺优化。

[0011] 所述的热物理性能参数包括:密度、比热容、热导率。

[0012] 所述的相变动力学参数是指:等温转变动力学参数。

[0013] 所述的有限元计算方法,采用但不限于有限元软件MSC.Marc实现。

[0014] 所述的有限元计算方法,通过对工件淬火过程进行数值模拟分析,获取工件在热处理过程中各个部位的温度场与相变场分布数据,具体包括工件在冷却过程中其组织转变模型中冷却最快与最慢节点的温度与相变量历史曲线;

[0015] 所述的组织转变模型是通过过冷奥氏体等温转变动力学曲线得出的,对于扩散型相变其转变量计算基于扩展的Avrami方程: $f=1-\exp(-b\tau^n)$ ,其中 $f$ 表示新相的体积分数, $b,n$ 表示相变动力学常数, $\tau$ 表示等温时间;对于非扩散型马氏体相变,其转变量计算基于经典的K-M方程: $f_M=1-\exp[-\alpha_M \cdot (M_s-T)]$ ,其中: $f_M$ 表示马氏体体积分数, $\alpha_M$ 表示相变常数, $M_s$ 表示马氏体相变起始温度, $T$ 表示当前温度。

[0016] 所述的预冷时间是指:当工件属于薄壁件,其淬火时预冷时间根据工件中冷却最慢的点的温度不低于铁素体转变开始温度;当工件属于厚壁件,其淬火时预冷时间根据工件中冷却最快的点的温度不低于铁素体转变开始温度。

[0017] 技术效果

[0018] 与现有技术相比,本发明借助有限元软件、热力学计算软件与常规实验,能有效确定复杂结构不同壁厚高强钢工件热处理淬火工艺中的预冷时间;通过本发明方法的应用,通过采用计算机数值模拟技术对热处理工艺过程的温度场、应力应变场与组织场进行准确的预测,结合工件壁厚优化原则,可以快速有效地确定高强钢淬火过程的预冷时间,提高其淬火工艺的可靠性与稳定性。

## 附图说明

[0019] 图1为实施例中计算得出的30CrMnSiNi2A的热导率示意图。

[0020] 图2为实施例中30CrMnSiNi2A先共析铁素体/珠光体等温转变曲线示意图。

[0021] 图3为实施例中工件模型中冷却最快与最慢节点的温度变化曲线示意图。

## 具体实施方式

[0022] 本实施例以30CrMnSiNi2A材质的轴承基座淬火工艺为例,该工件构形复杂,截面尺寸差异大,厚薄不均匀,最厚处达70mm,最薄处仅为4mm,热处理淬火时不同部位受热和冷却程度差异大,容易产生变形,本实施例包括以下步骤:

[0023] 步骤1) 确定材料的热物理性能参数

[0024] 借助材料热力学计算软件JMatPro对30CrMnSiNi2A材料的各项热物理性能参数进行计算,包括密度、比热容、热导率,由于这些参数是与温度相关的,实际计算出的一条性能参数与温度的曲线,如图1列出了计算得出的热导率与温度的关系图;

[0025] 步骤2) 确定材料的相变动力学参数

[0026] 通过Gleeble3500热物理模拟试验机对30CrMnSiNi2A材料的等温转变动力学进行测量,对应的相变动力学参数是通过测试得出的试样在不同温度下等温过程中的热膨胀曲线的变化特征得出的,测试得出的30CrMnSiNi2A先共析铁素体/珠光体等温转变曲线如图2所示;

[0027] 步骤3) 确定冷却介质的换热系数

[0028] 本实施例预冷在空气中进行,空冷的换热系数采用如下经验公式计算得出: $H = 2.2(T_w - T_c)^{0.25} + 4.6 \times 10^{-8}(T_w^2 + T_c^2)(T_w + T_c)$ ,其中: $T_w$ 为工件温度, $T_c$ 为环境温度,均以K为单位;

[0029] 步骤4) 利用有限元计算方法计算得出工件的温度场与相变场分布

[0030] 应用有限元软件MSC.Marc以及子程序二次开发对工件淬火过程进行数值模拟分析,获取工件在热处理过程中各个部位的温度场、与相变场分布数据,数据包括工件在冷却过程中其网格模型中冷却最快与最慢节点的温度与相变量历史曲线,计算得出的温度变化曲线如图3所示:

[0031] 步骤5) 根据工件厚度类型确定预冷时间

[0032] 本实施例的工件属于薄壁件,其预冷时间根据工件中最慢的位置的温度大于铁素体转变开始温度的评判准则进行确定,本实施例材料30CrMnSiNi2A的铁素体转变开始温度约为720℃,根据图3的计算结果,在80s的空气预冷下,工件中冷却最慢的位置的温度,约为850℃,满足评判要求。

[0033] 上述具体实施可由本领域技术人员在不背离本发明原理和宗旨的前提下以不同的方式对其进行局部调整,本发明的保护范围以权利要求书为准且不由上述具体实施所限,在其范围内的各个实现方案均受本发明之约束。

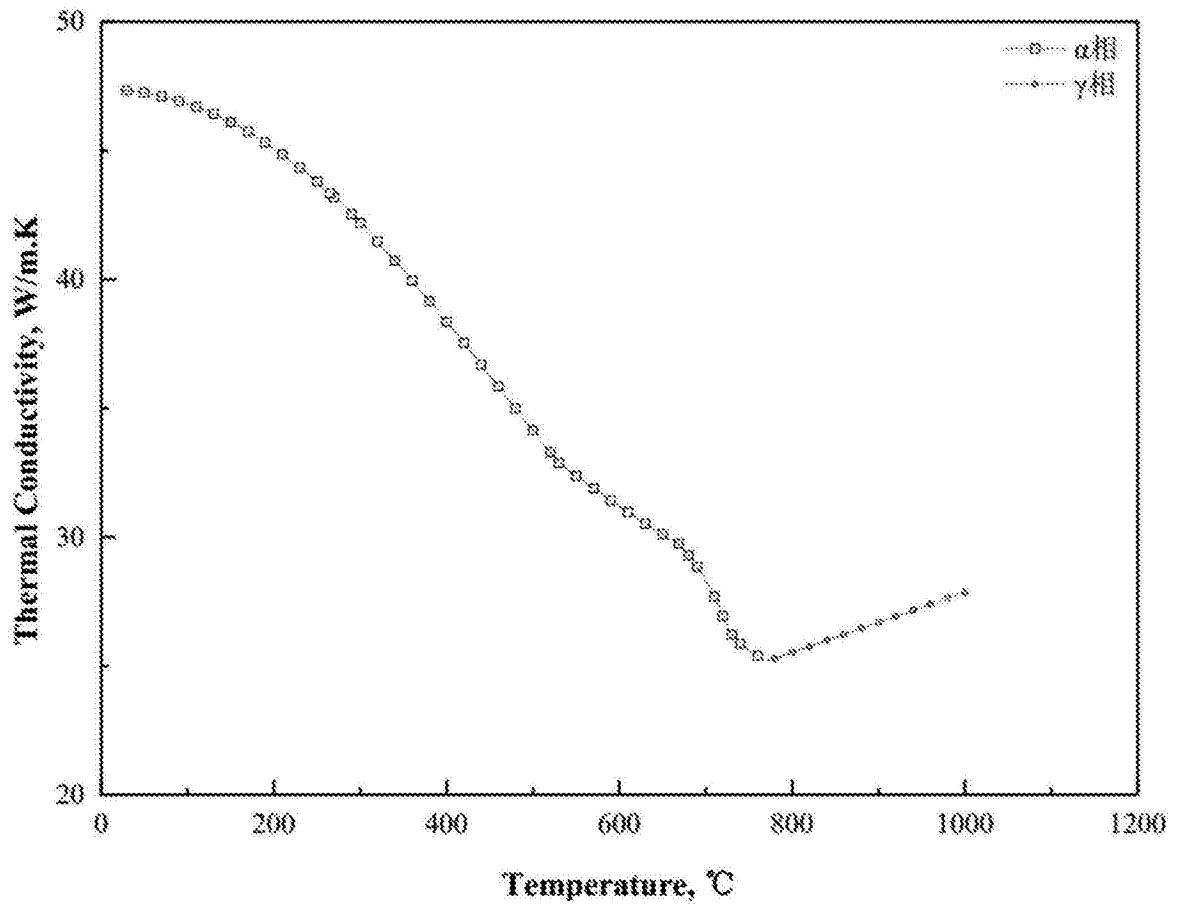


图1

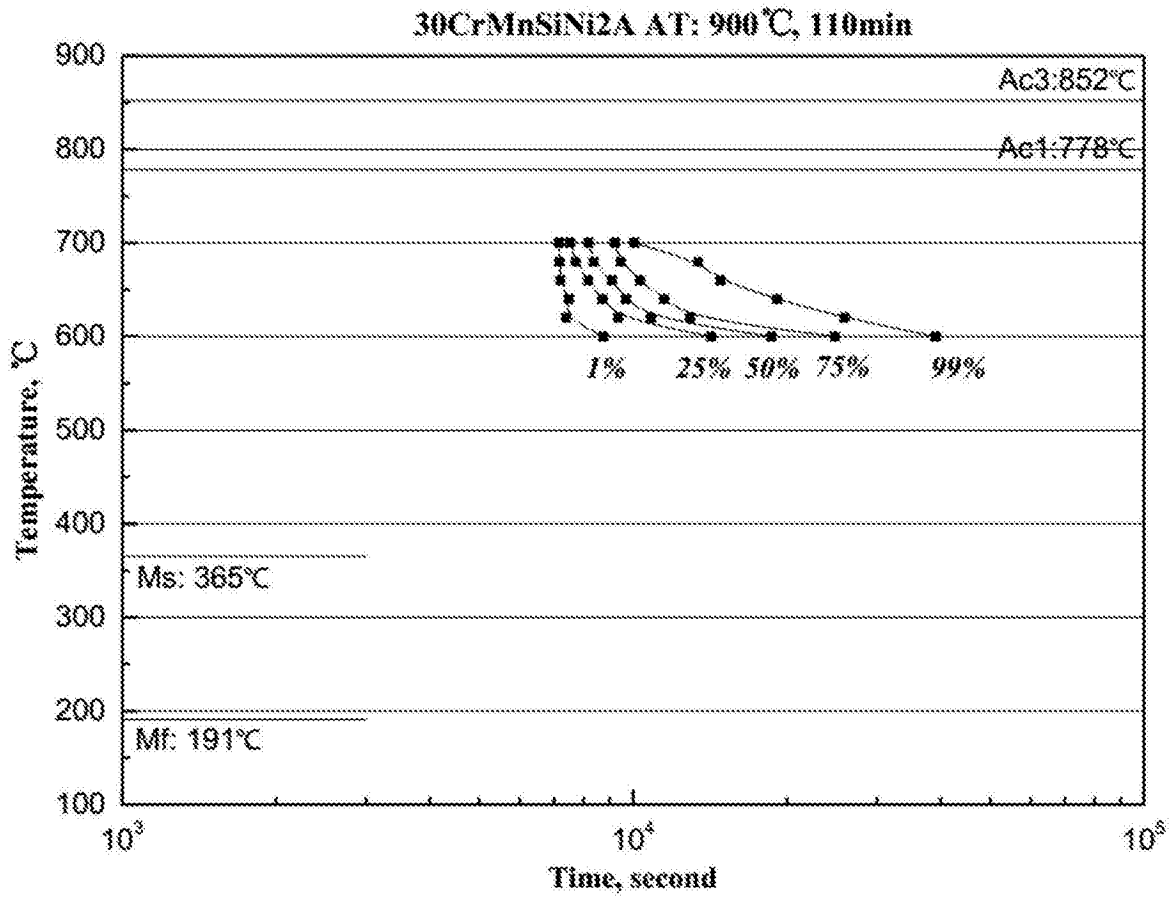


图2



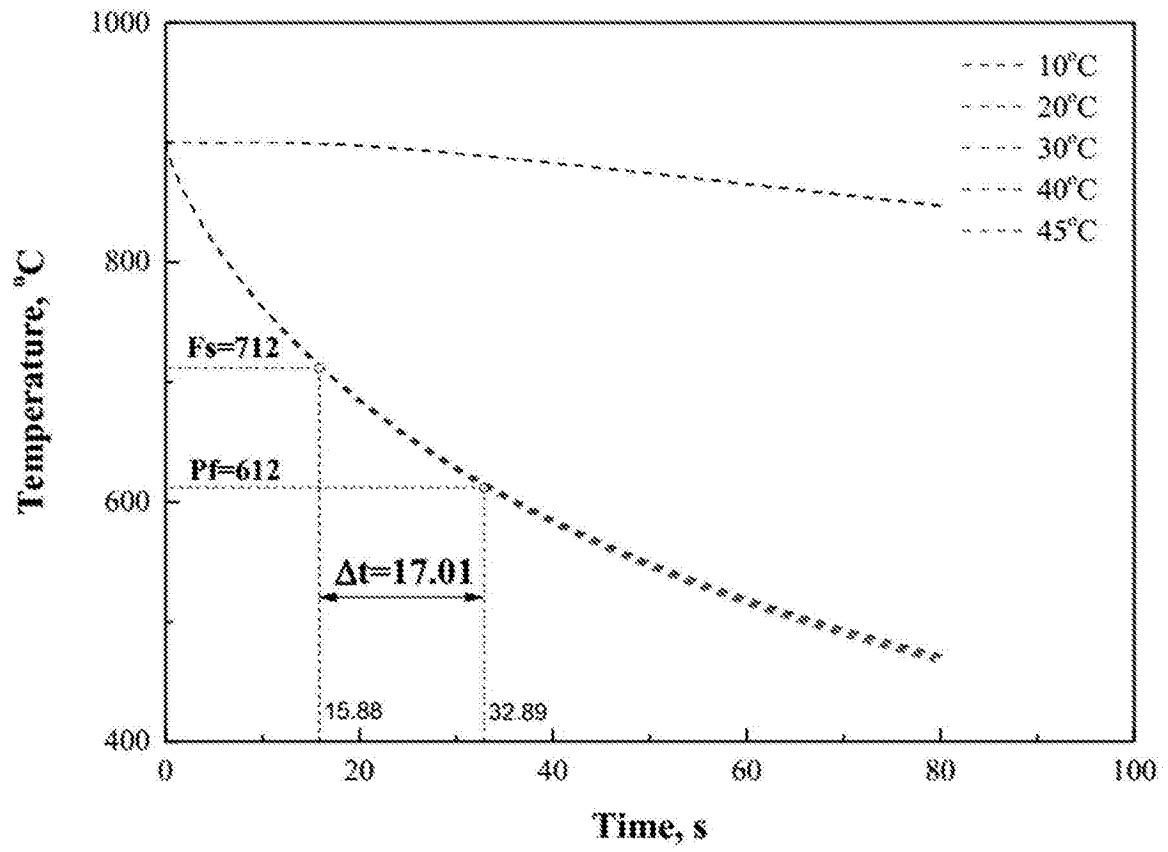


图3