

消除汽车主动齿轮用 钢 20CrMnTi 中带状组织的研究

颜礼功, 李增, 周晓玲

(昆明理工大学 机电工程学院, 云南 昆明 650093)

摘要: 汽车主动齿轮用钢 20CrMnTi 在毛坯锻造后如存在带状组织时, 将严重影响零件的可靠性和安全性. 探讨和实验了将 20CrMnTi 钢试样加热到奥氏体状态, 在保温过程中, 用自行设计、制造的脉冲电流发生器, 输入频率为 50 Hz, 强度为 1 000 A 的脉冲电流, 再将试样出炉空冷. 由于奥氏体化加热和脉冲电流的复合处理, 试样可以在短时间内迅速消除带状组织, 细化晶粒, 为后续的热处理——渗碳、淬火提供了良好的基体组织, 提高了 20CrMnTi 钢制造的汽车主动齿轮可靠性和安全性.

关键词: 脉冲电流; 带状组织; 细化晶粒

中图分类号: TG162.73 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-855X(2006)05-0020-04

A Study of Eliminating the Band Structure in 20CrMnTi Driving - Gear for Automobile

YAN Li-gong, LI Zeng, ZHOU Xiao-ling

(Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093, China)

Abstract: The reliability and safety of the driving gear of automobile may be influenced seriously by the band structure in the 20 CrMnTi blank, which is induced by forging. The article has explored and experimented with the specimen which is input a 1 000 A current impulse of 50 Hz by the tailored current - impulse generator during the austenitization, held certain period of time, and then cooled down in the air. The results show that the band structure in such specimen can be eliminated quickly in a short time and the fine grain also be obtained, consequently providing proper matrix structure for the subsequent heat treatments such as carbonizing, quenching. Thus, the reliability and safety of the driving gear have been improved.

Key words: current Impulse; band structure; grain refinement

0 引言

汽车变速箱主动齿轮是汽车的重要零件, 主要传递发动机动力, 改变发动机曲轴和传动轴的速度比, 工作非常繁重. 工作载荷包括冲击载荷和交变弯曲载荷等. 齿部、齿根以及齿轮心部受到不同应力的作用. 为了保证齿轮工作的可靠性、安全性和使用寿命, 要求汽车变速箱主动齿轮具有很高的抗弯强度、接触疲劳强度, 齿表面要有高的硬度和耐磨性, 而心部有足够的强度.

要满足以上的性能, 对于 20CrMnTi 钢制造的汽车变速箱主动齿轮表面化学热处理技术和工艺要求是很严格的, 比如: 齿轮表面含碳量、浓度梯度、渗碳层厚度、渗层组织等多项指标的考核. 心部也有显微组织、宏观组织、晶粒度等指标的考核.

影响齿轮可靠性、安全性和使用寿命(内在质量、外在质量)的因数是多方面的, 譬如: 钢材的冶金质

收稿日期: 2005-11-22. 基金项目: 云南省自然科学基金资助项目(项目编号: 2003E0024M)子项目.

第一作者简介: 颜礼功(1947~), 男, 高级实验师. 主要研究方向: 热处理工艺和实验. E-mail: ylg200504@163.com

量、机械加工质量、最初热处理质量、中间热处理质量和最终热处理质量等多个环节。

本文主要研究、讨论影响汽车齿轮最初热处理质量的两个因数。

1) 20CrMnTi 钢属于低碳合金结构钢。最初热处理工艺是正火: 零件在 880 ~ 900 °C 加热、保温后, 随即置放在空气中冷却。在整个制造工艺流程中, 正火一般被安排在钢坯的锻造之后进行。20CrMnTi 钢锻造之后, 钢中的枝晶偏析、杂质元素偏析和碳元素偏析, 极易聚集在被锻造变形拉长的奥氏体晶界上, 形成所谓的“纤维组织”^[1]。传统的正火处理很难改变这些偏析在奥氏体晶界上的分布状态。正火空冷时, 奥氏体中的先析铁素体以纤维组织为核心开始形核并长大。当材料的温度下降到临界温度以下时, 余下的奥氏体转变为珠光体。这时, 先析铁素体就以原来“纤维组织”方向呈层状分布在珠光体之间, 形成“带状组织”, 如图 1 所示。

“带状组织”的出现使材料的力学性能具有明显的方向性, 其纵向、横向的力学性能相差很大, 一般纵向的抗拉强度较高, 延伸率和断面收缩率比较好, 而横向的抗拉强度显著降低, 延伸率和断面收缩率下降尤其明显。资料介绍^[2], 同一金属材料在基体组织中有带状组织时, 如果横向(与纤维方向呈 90°)的寿命指标为 1, 那么纵向(与纤维方向一致)的寿命则为 2.5, 这表明带状组织造成的各向异性是很严重的。它的存在将导致该零件总体力学性能的降低, 齿轮的可靠性、安全性和使用寿命降低。

2) 20CrMnTi 钢在加热形成的奥氏体中碳元素以及合金元素的均匀化, 是热处理中一个很重要的阶段, 在此阶段中, 奥氏体中合金元素的均匀化过程滞后于碳的均匀化过程, 要实现奥氏体化学成分的均匀化, 不仅正火温度要高, 而且加热时间很长。通常, 碳的均匀化须在 950 °C 以上, 而合金元素的均匀化在 1100 °C 以上才能完成^[3], 这样, 极易造成奥氏体晶粒长大而粗化。20CrMnTi 钢经 900 °C 保温 3 h 炉冷的晶粒度如图 2 所示。

粗大的奥氏体晶粒必然影响到它的转变产物的组织和性能, 使得材料的屈服强度、抗拉强度、接触疲劳强度和冲击韧性下降, 而且容易形成显微裂纹的几率增加, 以致影响到齿轮的使用性能和使用寿命。

综上所述, 由于 20CrMnTi 钢的热处理加热温度都在 950 °C 以下, 在仅只是使用传统的、单一的最初热处理工艺时, 很难消除带状组织, 无法获得细小均匀的基体组织, 很难进一步改善、提高 20CrMnTi 钢制造的齿轮的内在质量和外在质量。

为解决 20CrMnTi 钢基体组织中容易存在的以上缺陷, 采用在金属加热的同时, 用已满足相变热力学条件的试样, 再输入占空比很小的低频脉冲大电流的方法, 使之在基体组织的转变过程中, 获得额外激活能 ΔE , 增加扩散系数 D , 以改变材料的相变动力学条件, 可以提高组织转变速度, 在较短时间内细化晶粒, 消除钢中的缺陷——带状组织, 为后续热处理工艺(碳氮共渗、淬火、回火)提供理想的基体组织, 同时, 可以节约能源。

1 试验方法

每个试样尺寸为 $\phi 15 \text{ mm} \times 12 \text{ mm}$, 分为若干组。每个试样的两个端面用导线联接。试验时, 用一个试样放在 900 °C 的实验电炉中加热, 它的两根导线在炉外与自行设计、制造的 MY-2005 型脉冲电流发生器连接, 作为脉冲电流的承载体。试样加热到 900 °C 开始保温, 同时输入一定强度和一定频率的脉冲电流, 不同试样分别输入强度为 800 A、900 A、1 000 A, 频率为 50 Hz、30 Hz、15 Hz 等不同参数的脉冲电流。保持一定时间后(10 min), 按正火工艺执行, 出炉空冷。随后, 对以上不同组别的试样进行金相检验和分析, 从中筛选出最佳的组织以及脉冲参数。

加热炉、脉冲信号发生器、示波仪、电子电位差计等实验设备的工作示意图如图 4 所示。

2 实验结果

经大量实验发现, 试样在 900 °C 加热条件下的保温过程中, 通入一定参数的脉冲电流后, 再出炉空冷,

能在很短时间内(10 min)消除带状组织,细化晶粒,见金相照片图3所示.图5~图10为20CrMnTi钢在奥氏体状态下,输入不同参数的脉冲电流后,不仅可以短时间内迅速消除带状组织,而且不同程度细化金相组织的对比.



3 分析与讨论

1) 研究任何相变过程,都要研究该相变系统的热力学条件和动力学条件.该材料20CrMnTi钢的相变临界温度 A_{c3} 为 825°C ,在 900°C 加热保温时,为试样的完全奥氏体化创造了相变的热力学条件,可以实现从铁素体和珠光体的混合物向奥氏体的自发转变,此时如果能改变相变的动力学条件,那么将会得到与常规热处理截然不同的组织.

根据麦克斯韦—玻尔兹曼定律^[4],在 N 个溶质原子中,在 T 温度下具有跳动条件即可以克服位垒而扩散的原子所占百分数为: $n/N = e^{-\Delta G/kT}$.如果原子振动频率为 v ,溶质原子最邻近的间隙位置数为 z ,则平均每个原子在单位时间内的跳动次数,即跳动频率为 Γ :

$$\Gamma = v \cdot z \cdot e^{-\Delta G/kT}$$

$$\text{而 } \Delta G = \Delta H - T\Delta S \approx \Delta E - T\Delta S$$

$$\text{则 } \Gamma = v \cdot z \cdot e^{-\Delta s/k} \cdot e^{-\Delta E/kT}$$

$$\text{由于 } D = a^2 \cdot P \cdot \Gamma = a^2 \cdot P \cdot v \cdot z \cdot e^{-\Delta s/k} \cdot e^{-\Delta E/kT}$$

$$\text{则 } D = D_0 \cdot e^{-\Delta E/kT}$$

式中: D 为扩散系数,它决定着扩散的快慢程度; D_0 为扩散常数,它与温度无关,主要与溶剂晶格和溶质原子种类有关; Q 为扩散激活能,表示使1 mol原子物质离开其平衡位置所需要的能量,单位是J/mol原子,可以把它看成是不随温度变化的参量; R 为气体常数($8.32 \text{ J/K} \cdot \text{mol}$); T 热力学温度(K); e 为自然对数; a 为两个晶面之间的垂直距离; P 为溶质原子由晶面I扩散到晶面II的几率.

由上式看出,扩散激活能 ΔE 的增加,即扩散障碍(位垒)的增加,会降低扩散系数 D ,不利于碳和其他元素的扩散.在组织转变发生碳原子和其他合金元素扩散时,施加的脉冲电流恰好提供了一种溶质原子扩散时所需要的额外能量,以克服扩散障碍(位垒),使得扩散系数增加.对于间隙扩散来说,扩散激活能 Q 就是溶质原子发生跳动时所需的额外聚活能 ΔE .

由于脉冲电流的输入,不仅使材料中的碳元素、合金元素获得了额外激活能 ΔE ,也使得杂质元素获得了额外的激活能 ΔE ,明显提高碳原子和其他合金元素扩散速度,这样就改变了杂质元素和各种偏析在奥氏体晶界上的富集,消除了先析铁素体以层状出现的可能,使得纤维组织难以形成,从而消除带状组织,使得相变组织更加均匀.

2) 从实验结果对比来看,脉冲能量越大,扩散系数增加得越大,不仅增大了碳原子和合金元素的扩散速度,缩短了奥氏体化学成分均匀化过程,消除了带状组织,而且由于脉冲电流提供了额外激活能,使得奥氏体的形核率增加,晶粒变细.形核率 N 和激活能 Q 的关系如下^[5]:

$$N = D_0 e^{-Q/kT} \cdot e^{-w/kT}$$

式中: D_0 为常数; Q 为扩散激活能; T 为绝对温度; k 为波尔茨曼常数; w 为临界晶核形成功.

(下转第43页)

应用;J2EE 服务器中含有一个 Web 容器,JSP、Servlet 和 Portlet 均可部署在 Web 容器中,负责产生动态的显示内容;业务逻辑层部署在 J2EE 服务器的 EJB 容器中,运行在 EJB 容器中的 Enterprise Bean 负责执行业务逻辑及数据访问。数据服务层主要由关系数据库组成,通常在此层中部署大型的数据库服务器,此层执行永久数据的存储及访问。三层结构保证了处理与表示分离、数据与代码分离,因此 J2EE 体系是一个稳定可靠及可扩展的体系结构。

实验模型实现了公文流转、流转监控、流程定制、组织机构定制等功能。

3 结论

通过对办公自动化系统的核心——公文流转部分进行了以软件复用思想为指导的 OO 分析、设计和实现,重点体现了流程的动态化和基于角色的访问控制,建立了可复用性较高的基于 RBAC 的动态工作流软件复用模型,并且把这个模型应用于一些实际的工程项目,说明了有利于提高办公自动化领域的软件开发效率和质量。

参考文献:

- [1] 杨美清. 软件复用及相关技术[J]. 计算机科学,1999,26(5):1-4.
- [2] 邵维忠,杨美清. 面向对象的系统分析[M]. 北京:清华大学出版社,1998.
- [3] 姜瑛. 公文流转的软件复用模型[D]. 云南:昆明理工大学,2001.
- [4] Coad P, Yourdon E. 面向对象的设计[M]. 邵维忠,等译. 北京:北京大学出版社,1994.
- [5] Coad P, Yourdon E. Object - Oriented Analysis[M]. 2nd ed. . Englewood Cliffs, NJ: Prentice - Hall, 1991.
- [6] Booch G. Object - Oriented Analysis and Design With Applications[M]. 2nd ed. . Redwood City, California: Benjamin/Cummings Publishing Company, 1994.

(上接第 23 页)

由上式看出,在其它因素不变的情况下,扩散激活能 Q ,即扩散位垒(障碍)的减小,有利于形核率 N 的增加,而要实现 Q 的减小,只有输入脉冲电流,提供克服扩散位垒的额外激活能 ΔE ,才能大大增加形核率 N . 使金属在单位体积、单位时间内获得更多的晶核,为金属晶粒的细化提供必要的条件。

4 结论

在仅只是使用传统的、单一的最初热处理工艺时,是很难消除带状组织的,无法获得细小均匀的基体组织,要进一步改善、提高用 20CrMnTi 钢制造的齿轮的内在外在质量,可将 20CrMnTi 钢试样在 900℃ 加热条件下的保温过程中(10 min),通入 50 Hz、1 000 A 的脉冲电流后,再将试样出炉空冷,由于脉冲电流和奥氏体化加热的复合处理,能消除该材料中常规正火不易消除的缺陷——带状组织,细化钢中粗大晶粒,为后续的热处理——渗碳、淬火提供了良好的基体组织。

参考文献:

- [1] 上海市机械制造工艺研究所. 金相分析技术[M]. 上海科学技术文献出版社,1987:187.
- [2] 中国机械工程学会热处理学会编. 热处理手册·第 2 卷[M]. 3 版. 北京:机械工业出版社,2002:40.
- [3] 刘云旭. 低碳合金钢中带状组织的成因、危害和消除[J],金属热处理,2000,12:1.
- [4] 胡庚祥,钱苗根. 金属学[M]. 上海科技出版社,1980:118-119.
- [5] 刘云旭. 热处理原理[M]. 机械工业出版社,1983. 13.
- [6] 周亦胃,周本濂. 脉冲电流对 45 钢损伤的恢复作用[J]. 材料研究学报,2000,14(1):29-36.