

# 实时测温技术确定热处理工艺规范研究

Research on Real-time Temperature Measuring Method  
for Determining Heat Treatment Regulation

吕震洲, 韩建民, 李卫京, 杨智勇, 王金华

(北京交通大学 机械与电子控制工程学院, 北京 100044)

LU Zhen-zhou, HAN Jian-min, LI Wei-jing,

YANG Zhi-yong, WANG Jin-hua (School of Mechanical, Electronical

and Control Engineering, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China)

摘要: 以货车锻造钩尾框调质热处理为例, 采用实时测温技术测量加热和冷却过程中炉内不同位置和钩尾框不同部位处的温度, 通过分析温度变化规律并结合试样的组织和力学性能结果, 确定了锻造钩尾框批量生产的合理热处理工艺规范, 验证了实时测温技术确定热处理工艺规范这种方法的可靠性和实用性。

关键词: 实时测温; 热处理工艺规范; E 级钢; 钩尾框

中图分类号: TG 156 1 文献标识码: A 文章编号: 1001-4381(2007)06-0039-04

**Abstract:** A case study of quenching and high temperature tempering of forged coupler yoke used to railway freight cars, the real-time temperature measuring method is utilized to measure the temperature in different places of furnace and coupler yoke in the course of heating and cooling treatment. Based on the results of analyzing the rule of temperature change and testing the sample's microstructure and mechanical properties, the reasonable heat treatment regulation for mass production of forged coupler yoke is determined and the reliability and practicability of real-time temperature measuring method for determining heat treatment regulation are verified.

**Key words:** real-time temperature measuring; heat treatment regulation; grade E steel; couple yoke

调质热处理是生产调质钢的重要手段, 其工艺规范的合理性对保证工件获得优良性能具有决定性的作用。目前大多数研究单位和企业均采用经验并结合材料组织和性能实验检测的方法来制定调质热处理技术的工艺规范, 这种方法却乏科学性, 所制定的热处理工艺规范, 特别是淬火加热和冷却过程的工艺参数难以确保批量生产时的热处理效果, 部分热处理后的工件存在组织和性能达不到期望值的现象。本工作研究了实时测温技术确定热处理工艺规范的方法, 结合企业实际生产需要以铁道车辆 E 级钢钩尾框部件的热处理为实验研究对象, 采用实时测温技术制定了该部件批量生产的调质热处理工艺规范, 并通过组织和性能检测验证了所制定的工艺规范的合理性, 进而验证了实时测温技术确定热处理工艺规范这种方法的可靠性和实用性。国外采用实时测温技术制定热处理工艺规范已得到一定的应用, 而国内尚未见到相关的报道。本工作对 E 级钢钩尾框部件生产和质量的稳定性以及铁道车辆运行的安全性研究具有重要的现实意义<sup>[1]</sup>。采用实时测温技术来确定热处理工艺规范的方法

具有普遍的意义, 可以在其他热处理工艺或工件上应用。

## 1 实验方法

热处理实时测温技术可以连续测量加热和冷却过程中工件在热处理炉内不同位置和工件上不同部位的温度数值, 对所测得的温度数据进行处理和分析, 可以得出工件在加热和冷却中的实际温度分布和变化情况, 以此为基础来确定热处理过程中的工件装炉数量的合理性、加热温度和保温时间、入水温度和时间、在水中的停留时间等各项工艺参数, 制定出热处理工艺规范。本研究开发的实时测温技术包括三个部分: 测温元件、测温元件的联接技术和温度记录系统, 见图 1。测温元件为 K 型镍铬-镍硅热电偶, 采用熔焊方法将热电偶直接联结到工件上, 以力控软件开发出多通道计算机温度显示和记录系统。

本热处理实验在企业的生产现场进行。加热设备为 260kW 台车式电阻炉, 冷却设备为地坑式水冷淬火

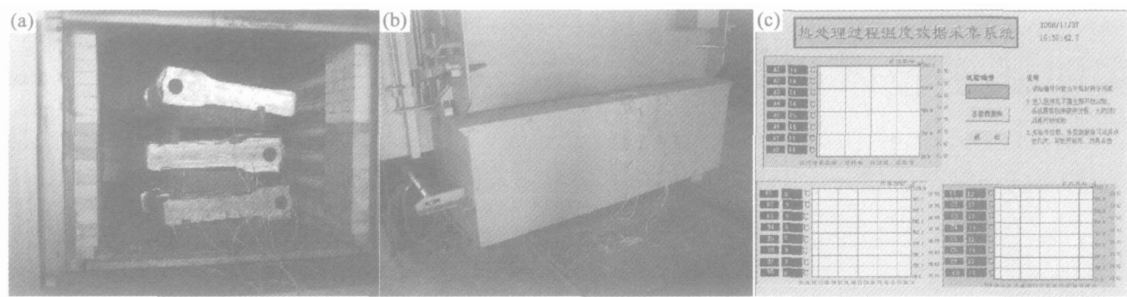


图 1 实时测温系统 (a) 热电偶与工件的联结; (b) 热电偶与计算机相联的一端; (c) 温度数据采集系统界面

Fig. 1 The real-time temperature measuring system (a) connection of thermocouples and workpieces; (b) ends of thermocouples connected to computer; (c) interface of temperature acquisition system

槽。钩尾框横放于淬火加热炉内,分三排装炉,每排十件,每炉加热 30 件钩尾框。选择炉内靠近炉门、炉的中心位置和炉内后部最高点 3 个代表性位置处的钩尾框作为测试件,每个钩尾框上安排 3 个测温点,共测量 9 个温度点,并在这些点安放随炉试块以检测材料的组织和性能。在钩尾框装炉前,分别在 9 个测试点焊接热电偶,装炉后热电偶延伸到炉外的一端与测温系统相联,测温点的布置如图 2 所示。实验中实时测量钩尾框在淬火热处理各个阶段的温度并记录数据,通过分析温度变化规律,并结合钩尾框不同位置的材料的组织和力学性能等数据,制定出热处理工艺规范。

实验材料为锻钢 25MnNiCrMoA,其化学成分(质量分数)为 C: 0.24% ~ 0.28%; Si: 0.2% ~ 0.4%; Mn: 1.2% ~ 1.5%; S ≤ 0.025%; Cr: 0.4% ~ 0.6%; Ni: 0.35% ~ 0.55%; Mo: 0.2% ~ 0.3%; Cu ≤ 0.20%。

本研究结合企业生产的实际,初步确定热处理淬火加热温度为 920℃ ± 10℃,保温时间 90min; 回火加热温度 600℃ ± 10℃,保温时间 120min; 淬火冷却介质为水,温度控制在 28℃。

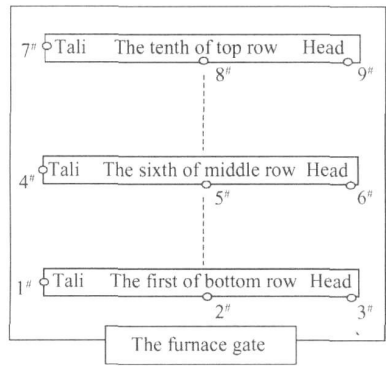


图 2 钩尾框温度测试点的分布

Fig. 2 The distribution of temperature measuring points in couple yoke

2 实验结果及分析

2.1 淬火加热和冷却过程的温度变化规律

钩尾框各个测试点在淬火加热过程中温度的变化如图 3 所示。

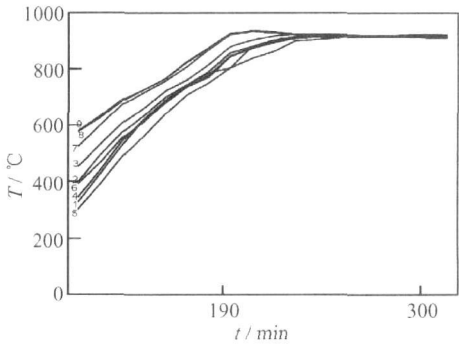


图 3 淬火加热曲线

Fig. 3 Quenching heating curves

由图 3 可以看出,淬火加热过程中各个测试点升温的速度和到达保温温度的时间是不同的。炉内不同位置处的钩尾框升温速度快慢顺序依次为:上排炉里-中排中间-下排炉门;钩尾框三个不同测试点的加热温度也有所不同,从高到低分别是尾-中-头。这种现象是钩尾框在炉内的摆放位置不同以及炉内各点加热温度不均匀双重作用的结果。具体来说,升温最慢的 5 号点比升温最快的 9 号点到达平衡温度的时间延迟了 50min,即 9 号点的保温时间是 110min,而 5 号点的保温时间只有 60min。其余各点的保温时间分布在 60~110min 之间,与加热保温时间 90min 的工艺要求存在较大的差别。为了缩小这种保温时间的差别,应该尽量减少钩尾框的装炉量,增大它们之间的空隙,减小受热不均对钩尾框升温速度的影响;或者可以通过适当增加保温时间来改善钩尾框某些位置保温时间短的状况。保温时间可以参考有关文献[2]中的公式来确定,即:

$$\tau = \alpha \cdot k \cdot D$$

式中:  $\tau$  为保温时间( min);  $\alpha$  为保温时间系数( min/ mm);  $k$  为工件装炉方式修正系数;  $D$  为工件有效厚度( mm)。

根据钩尾框的实际情况,  $\alpha$  取 1. 5,  $k$  取 1. 7,  $D$  取 50mm, 计算可求得钩尾框的保温时间  $\tau$  约为 120min, 所以实验初步确定的 90min 的保温时间改为 120min 更能满足实际热处理的需要。

图 4 为钩尾框 5 号测温点从出炉到淬火水冷结束整个过程的温度变化情况, 其临界点的淬火冷却速度满足 E 级钢过冷奥氏体临界转变速度的要求<sup>[3]</sup>, 此曲线较接近于水的理想冷却曲线。由于是同种材料同样的加热条件, 其余各点的转变规律和 5 号点基本相似。

根据经验公式<sup>[3]</sup>,

$$A_{c3}/^{\circ}\text{C}=5/9\left(1538-323C-25Mn+80Si-32Ni-3Cr\right)$$
$$M_s/^{\circ}\text{C}=538-317C-33Mn-28Cr-17Ni-11\left(Si+Mo+W\right)$$

可以计算出 E 级钢的  $A_{c3}$  点在 790℃ 左右,  $M_s$  点在 370℃ 左右。从图 4 可知, 淬火过程中各点的温度转变规律均符合 E 级钢组织转变的温度要求。

实验中, 三排钩尾框分三次出炉, 入水水温分别控制在 28. 6, 28. 4, 29. 8℃; 钩尾框从出炉到入水时间的测量值分别为 40, 37, 39s; 钩尾框在水中停留的时间

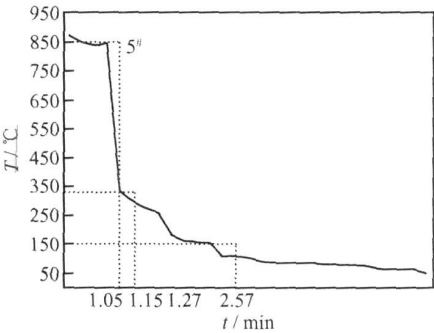


图 4 钩尾框 5 号测温点淬火冷却曲线

Fig. 4 Quenching cooling curve of the No. 5 point

分别为 3. 5, 3min; 由图 4 知钩尾框 5 号点的出水温度约为 150℃。

2.2 回火加热和冷却过程的温度变化规律

在锻造钩尾框的调质热处理工艺中, 淬火是工件组织和性能的主要影响因素。因此, 本研究未对回火过程的温度进行实时测量。淬火后立即回火, 加热到 600℃ ± 10℃, 保温 120min, 出炉空冷即可(见图 5)。由于合金元素的存在, 回火空冷的速度对组织和性能的影响不大<sup>[4]</sup>。

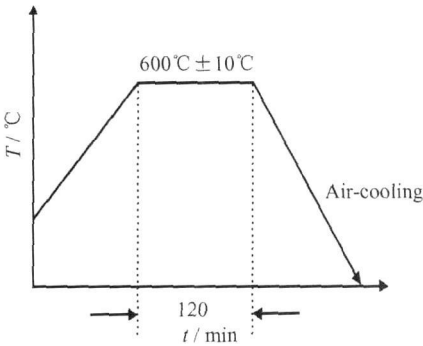


图 5 回火温度变化示意图

Fig. 5 Schematic diagram of tempering temperature change

2.3 试样的力学性能和金相组织

用作性能和组织测试的试样有本体取样和随炉试块两种。对试样进行加工和性能测试, 结果如图 6 和表 1 所示。不同位置点的试样均具有相应的代表性, 其中本体取样的 1, 5, 9 号分别代表钩尾框尾、中、头三个位置; 随炉试块的 3, 6, 9 号分别位于下层炉门、中层中间、上层炉里的位置。

由图 6 可知, 钩尾框调质处理前材料的组织为珠光体加铁素体; 调质处理后材料的组织为均匀的回火索氏体。由表 1 可知, 钩尾框 3 号和 5 号测温点位置的拉伸和屈服强度均低于其他位置点处的强度, 这主

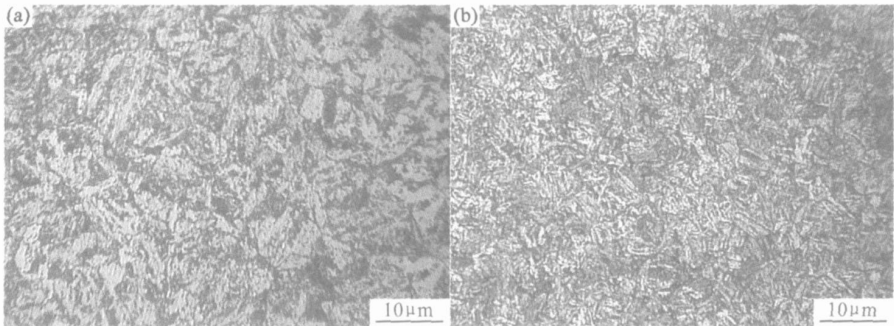


图 6 钩尾框调质前后的组织变化 (a) 调质前; (b) 调质后

Fig. 6 Change of couple yoke microstructure after quenching and high temperature tempering (a) before quenching and high temperature tempering; (b) after quenching and high temperature tempering

要是由于淬火加热过程中这两点的加热速度慢而造成保温时间短引起的。尽管如此, 钩尾框各测温点组织

织和力学性能的结果( 见表 1) 均符合铁道部有关规定的要求( 见表 2)。

表 1 钩尾框若干测温点的组织和性能

Table 1 Microstructure and mechanical properties of several temperature measuring points							
Types of sample		$\sigma_b/(N \cdot mm^{-2})$	$\sigma_{0.2}/(N \cdot mm^{-2})$	$\delta/\%$	$\Psi/\%$	$-40^{\circ}C A_{kv}/J$	Microstructure
Sample from couple yoke	No. 1	960	855	18	65	78	Tempering sorbite Grain size: grade 7-6
	No. 5	935	825	20	64	75	Tempering sorbite Grain size: grade 7-6
	No. 9	970	885	17	64	50	Tempering sorbite Grain size: grade 7
Testing sample	NO. 3	920	810	19	69.5	137	Tempering sorbite Grain size: grade 8-7
	No. 6	930	835	17.5	67	138	Tempering sorbite Grain size: grade 8
	No. 9	975	860	20	70	109	Tempering sorbite Grain size: grade 8-7

表 2 力学性能和晶粒度的要求

Table 2 Criterion of mechanical properties and grain size					
Types	$\sigma_b/(N \cdot mm^{-2})$	$\sigma_{0.2}/(N \cdot mm^{-2})$	$\delta/\%$	$\Psi/\%$	$-40^{\circ}C A_{kv}/J$
Testing sample	$\geq 850$	$\geq 690$	$\geq 14$	$\geq 30$	$\geq 27$
Sample from couple yoke	More than 90% of testing sample Grian size $\geq$ grade 6				$\geq 27$

2.4 合理热处理工艺规范的制定

由以上的分析可知, 对 E 级钢锻造钩尾框的淬火热处理可以采用以下的热处理工艺规范: 淬火加热温度  $920^{\circ}C \pm 10^{\circ}C$ , 保温时间 120min; 从出炉到入水时间不多于 40s; 淬火前水温控制在  $28^{\circ}C$  左右; 钩尾框在水中停留 3min 左右; 工件出水温度要小于  $200^{\circ}C$ 。

淬火后应立即回火, 回火温度  $600^{\circ}C \pm 10^{\circ}C$ , 保温时间 120min。

3 结论

(1) 采用实时测温技术测量钩尾框不同位置处在加热和冷却过程中的温度变化规律, 通过实验结果分析制定 E 级钢锻造钩尾框热处理工艺规范, 该方法具有科学性, 可以在其它热处理领域推广应用。

(2) 本研究制定的锻造钩尾框用热处理工艺规范合理可行, 可以用于 E 级钢锻造钩尾框的热处理。

参考文献

[1] 祁林祥, 袁洪年. 货车钩尾框断裂原因分析及建议[J]. 铁道车辆, 2000, (11): 1- 3.

[2] 中国机械工程学会热处理学会. 热处理手册 I[M]. 北京: 机械工业出版社, 2005.

[3] 安正昆. 钢铁热处理[M]. 北京: 机械工业出版社, 1990.

[4] 国家机械工业委员会. 金属材料及热处理基础[M]. 北京: 机械工业出版社, 1988.

收稿日期: 2006-09-08; 修订日期: 2006-12-01  
作者简介: 吕震洲(1982- ), 男, 硕士, 研究方向: E 级钢的热处理工艺, 联系地址: 北京交通大学 626 信箱(100044)。

欢迎订阅《材料工程》

《材料工程》主要刊登有关材料科学与工程方面的学术论文, 同时刊登综合性评述, 报道新材料、新工艺、新产品信息, 及时、准确反映国内材料领域最新成就和最新进展。《材料工程》是美国工程索引(EI) 收录期刊, 是中国科技论文统计分析用刊, 同时入选《中文核心期刊要目总览》、中国科学引文数据库、中国学术期刊综合评价数据库、中国学术期刊(光盘版) 及万方数据网和中国期刊网。在国内外材料科技期刊中具有一定的地位和影响。本刊设有“测试与表征”、“表面工程”、“工艺”、“综述”等栏目。同时欢迎国内外厂商刊登广告, 价格优惠。

《材料工程》为月刊, 大 16 开本, 精美印刷, 每期 10.00 元, 全年 12 期 120 元。需订阅者可向本刊编辑部索取订单, 或直接汇款至编辑部即可。

地 址: 北京 81 信箱 62 分箱《材料工程》编辑部  
邮 编: 100095  
电 话: (010) 62496276