



KKD 车轮淬火加热动态测温试验及分析

安涛 肖峰 程德利 蒋宗好 王世付

刘日新 李鹏辉

(鞍山钢铁股份有限公司车轮轮箍分公司)

(北京赛维美高科技有限公司)

摘要：通过采用“黑匣子”耐高温温度测试仪对车轮在淬火加热炉内的温度进行动态跟踪测试，验证了马钢车轮轮箍分公司在淬火加热炉完成技改后所用临时工艺是合理的，同时提出了工艺优化的方向。

关键词：铁路车轮 黑匣子 加热炉 测温

一. 概述

鞍山钢铁股份有限公司（后简称马钢）车轮轮箍分公司是我国最大的一家生产铁路车轮和轮箍的专业厂家。从 2003 年初开始，马钢投资近 5 亿人民币对车轮生产系统从轧钢到热处理到检测进行技术改造。2003 年 4 月初，马钢车轮轮箍分公司的新车轮淬火系统建成试产。新淬火系统主要包括一座新环形加热炉（按排序在车轮轮箍分公司称为 4#炉），两台装料机机械手和六台车轮淬火台。

新 4#炉的燃烧系统、炉体结构、布料加热方式、控制系统和装出料设备等不同于改造前的车轮淬火加热炉。试产期间，车轮轮箍分公司先是根据经验制定了车轮淬火加热的临时工艺。通过对产品性能的统计分析，表明 4#炉及临时工艺能够较好的实现产品技术条件要求的产品性能。为进一步检验 4#炉的特性和验证工艺的正确性，车轮轮箍分公司分别于 2003 年 11 月 25 日、2003 年 12 月 18 日做了两次车轮淬火加热过程动态测温试验。通过测量在 4#炉内车轮不同位置的温度变化，分析加热速度的合理性，指导选择和优化炉温工艺参数。测量轮辋、辐板和轮毂奥氏体化的时间，指导选择和优化加热时间工艺参数。

二. 试验条件

两次试验都是采用 KKD 车轮作为试验工件，在 4#炉中按照试验工艺加热 3 小时，借助一种俗称“黑匣子”耐高温温度测试仪随试验工件入炉跟踪测试。“黑匣子”高温温度测试仪由高温温度记录仪和保温箱组成。在入炉前通过计算机编程设定采样周期、触发时间和在炉时间等参数，然后将高温温度记录仪装入有耐火纤维隔热的保温箱中，连接热电偶并随车轮进入炉内。在炉中运动依次通过预热段、加热一段、加热二段、均热段。出炉后，由计算机调出记录数据。采用 K 型热电偶，其测温范围为 0~1290 ，测量误差为 0.5%。记录仪的通道数为 7 个，分别用于第 8~14 点的测温。采样速率设定为每 8 秒采集记录一次。

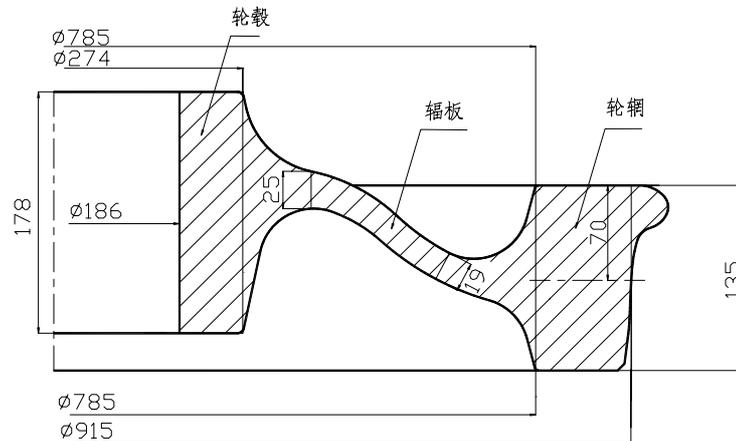


图 1、KKD 车轮结构及主要尺寸

设计测温点如图 2。测温点 8、9、10、12 用于测量轮辋温度场的变化。第 11 点用于测量车轮上表炉气温度。第 13 点用于测量辐板温度变化。第 14 点用于测量轮毂心部温度。

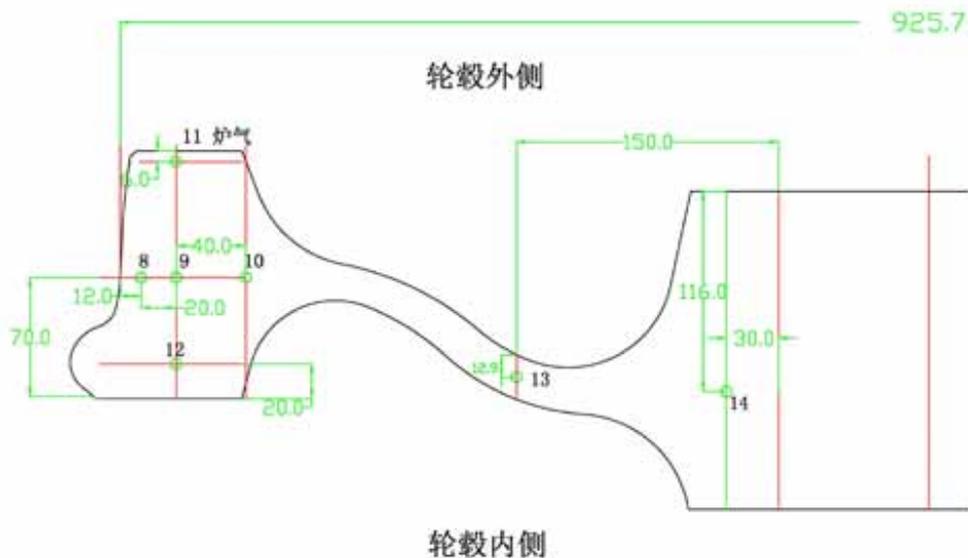


图 2、淬火加热温度测试点

1. 4#淬火加热炉：

是一座外径为 28m 的环形加热炉，采用了强制供风亚高速烧嘴、全纤维炉内衬、工件架



北京赛维美高科技有限公司

Beijing Savemation Technology Co., Ltd.

空受热、计算机控制等技术。炉膛宽 3.5m，有内、中、外环三排托料“梅花桩”。共分 60 个角度，每个角度有内、中、外三个“梅花桩”。加热区分为预热段、加热一段、加热二段和均热段，分别占 12、12、20、12 个角度，其中入口和出口之间占去 4 个角度。

2. 试验工件：

KKD 车轮是一种目前在我国普遍使用的提速客车轮，钢种为 CL60（化学成分类似 60# 钢）。主要尺寸见图 1。

第一次试验采用的车轮是淬火过的黑皮车轮；第二次采用的是经机加工的光亮车轮。

3. 试验工艺：

1) KKD 车轮淬火加热的临时工艺：

预热段：860；加热一段：860~880；加热二段：860~880；均热段：860~880；共 2 个半小时。

2) 试验控制：

■ 温度：

第一次试验：

- 预热段：前 20 分钟为 770 左右，后 15 分钟为 800 左右。
- 加热一段：860 左右；
- 加热二段：880 左右；
- 均热段：平稳在 870，上下波动不超过 10

第二次试验：

- 预热段：控制基本在 800~840 范围内。
- 加热一段：860 左右；
- 加热二段：880 左右；
- 均热段：平稳在 860，上下波动不超过 10

■ 时间：

两次试验加热总时间控制为 3 小时。前 2 小时 30 分钟匀速通过预热段、加热一段、加热二段、均热段 4 个角度，平均 3.125 分钟转动一个角度。均热段保温 30 分钟后，连续转动 8 个角度出炉。

三. 试验结果及分析

测得的两次温度-时间曲线见图 3、4。

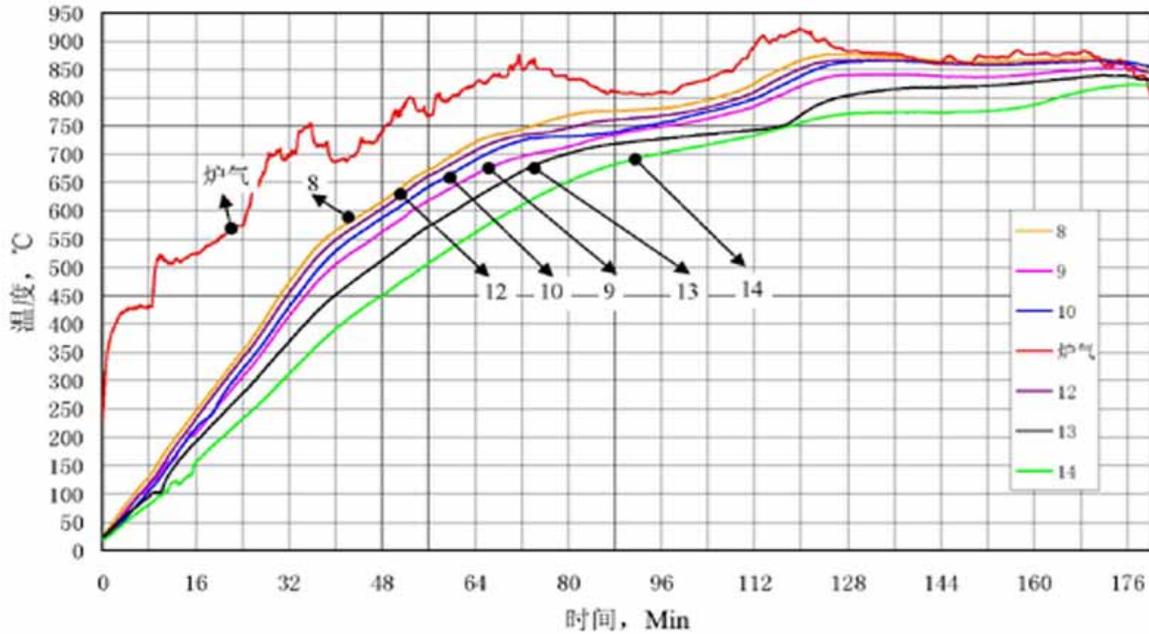


图3 第一次实验的测试结果（黑皮轮）

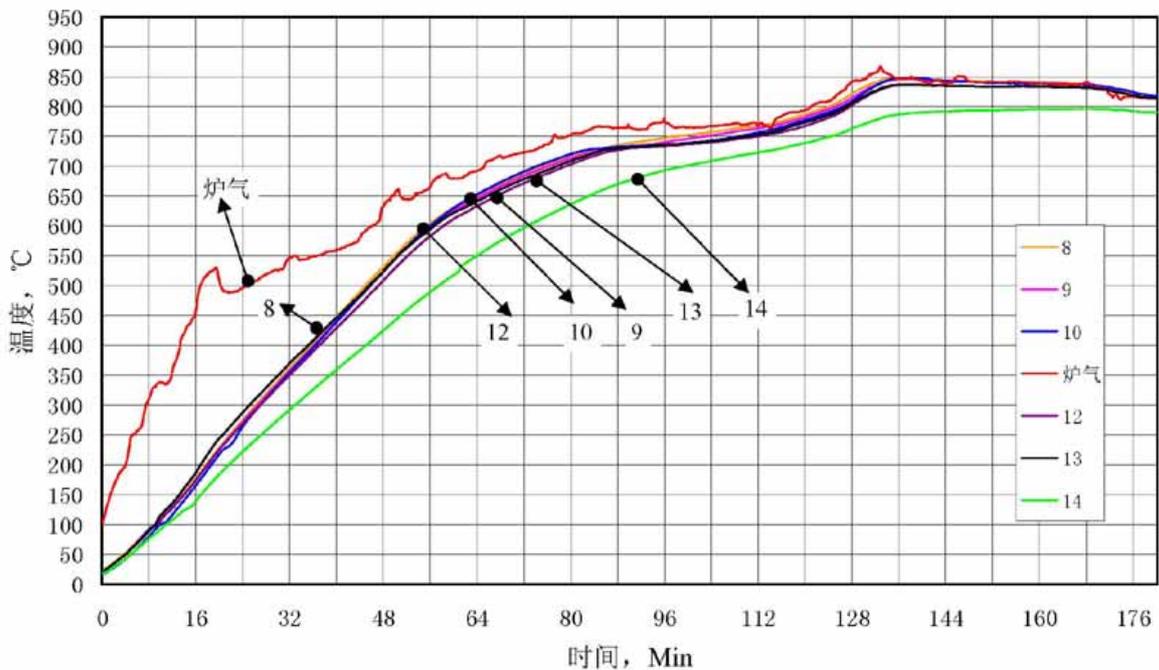


图4 第二次实验的测试结果（光亮轮）



其中，炉温取 4#炉实时监控系统记录的各段温度的平均值；第 11 点测得的车轮上表的炉气温度。

辐板大部分和轮毂全部被架在上面的保温箱遮挡，保温箱底部与轮毂面间距仅为 10mm，加热效果受到一定影响。尤其当温度高于 700~800 时，加热主要是靠辐射，遮挡对加热效果影响更大。所以实际生产情况下，加热相同时间，辐板和轮毂温度要比试验测量的温度要高。因此，辐板和轮毂的试验数据仅用于参考。

1. 相变时间

对于 CL60 钢，在缓慢升温条件下， $Ac1=727$ ， $Ac3=765$ ^[1]。两次试验车轮各部位到达转变温度所需时间见表 1。

表 1、车轮各部位加热到转变温度所需时间

位置	转变温度	近踏面 (8)	辋中心 (9)	辋颈部 (10)	近内辋面 (12)	板中心 (13)	毂中心 (14)
第一次	Ac1	1:06	1:25	1:14	1:09	1:36	1:49
	Ac3	1:19	1:45	1:40	1:33	2:00	2:04
	时差 (min)	13	20	26	24	24	15
第二次	Ac1	1:25	1:27	1:24	1:29	1:27	1:56
	Ac3	1:52	1:54	1:57	2:01	1:58	2:10
	时差 (min)	27	27	33	32	31	14

由上表数据可见，首先开始转变的是近踏面部位，约在装炉后 1 小时 06 分钟（第一次试验数据），最后完成转变的是轮毂中心，约在装炉后 2 小时 10 分钟（第二次试验数据）。这段时间，车轮正处于加热二段加热（第 25 个角度到第 44 个角度）。

两次试验中，辐板和轮毂心部完成相变的时间大约都在装炉后 2 小时，若排除试验时辐板和轮毂加热受到保温箱遮挡的影响，则辐板和轮毂完成相变的时间更短。若加热 3 小时，则有 1 小时多的保温时间，可能导致辐板奥氏体晶粒长大，最终影响回火后的辐板冲击韧性。

从图 2、3 来看，相变阶段加热曲线出现平台，这是由于相变潜热影响的缘故。由珠光体转变为奥氏体时是一个吸热的过程，吸热导致加热速度变慢。

相变完成后剩下 50 分钟的时间用于奥氏体均匀化和温度均匀化。但对于碳素钢和一部分合金结构钢来说，奥氏体的均匀化的时间很短，可以视为零^[2]。所以，奥氏体转变完成后的加热目的是实现温度的均匀化。

2. 内外温差

在同一时刻，一般是近踏面位置（即 8 号测温点）温度最高（钢表温度除外），轮辋的最低温度在轮辋中心（即 9 号测温点），整个车轮的最低温度在轮毂中心（即 14 号测温点）。加热过程中内外温度差的变化见图 5、6。由于轮毂近表面未设测温点，假定加热过程中车轮整个表面的温度基本一致，所以可用（轮毂中心温度-近踏面温度）来表示轮毂部位的内外温差。



两次试验中加热温度控制基本相同，但从图 3、4、5、6 来看，第一次试验中内外温差较大，而第二次试验中内外温差很小。就其原因，主要是第一次试验用车轮和第二次试验用轮的表面状况不同，前者是淬火后的黑皮车轮，后者是经机加工的光亮车轮。同样加热条件下，黑皮车轮的加热速度显然要比光亮车轮的要快^[3]，这点也被以下的加热速度分析中证明，加热速度快自然内外温差大。

表 2、内外温差

	轮辋					轮毂				
	最大			最小		最大			最小	
	温差	时间 m	心温	温差	时间 m	温差	时间 m	心温	温差	时间 m
第一次	63	37	466	8	180	176	39	377	26	180
第二次	8	50	534	0	141	115	56	482	24	180

从图表可见，第一次试验中最大温差出现在加热一段的起始位置，第二次试验中最大温差出现在加热一段的中间位置。此后轮辋和轮毂的内外温差呈下降趋势。相变过程出现温差低谷，相变完成后出现第二个温差峰值。出炉时，轮辋部位的温度基本均匀，最大温差仅 8 。此时，轮毂内外温差也仅有 24~26 ，对于相当于正火处理的轮毂来说，这种温差也是比较理想的。

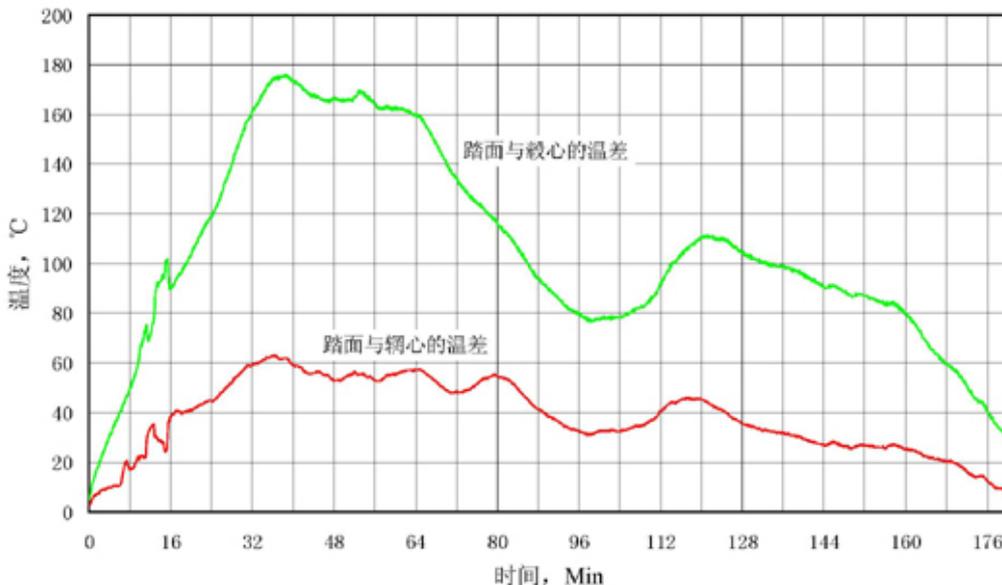


图 5 第一次实验（黑皮轮）踏面-轮辋中心和踏面-轮毂中心的温差分布

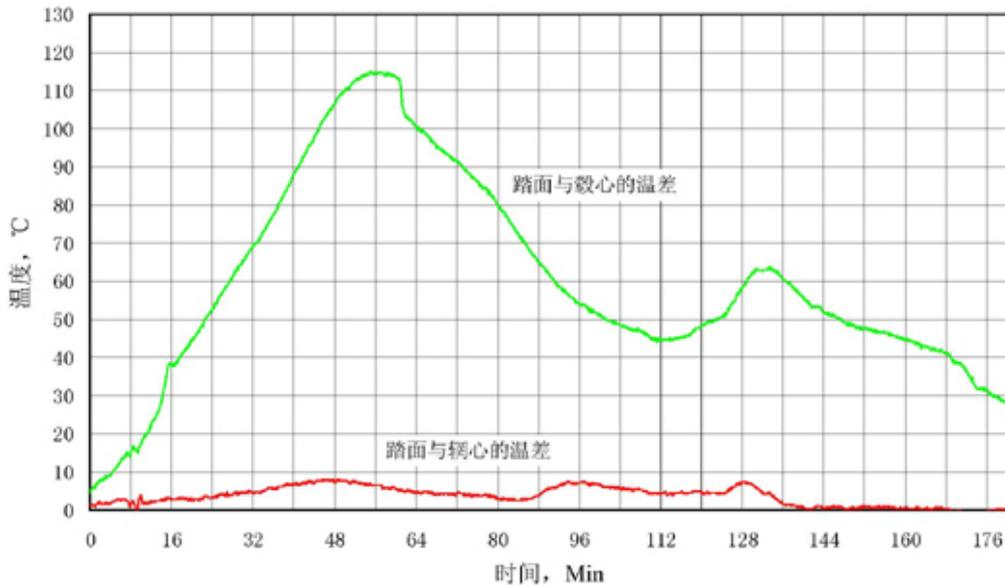


图 6 第二次实验（光亮轮）踏面-轮辋中心和踏面-轮毂中心的温差分布

如果严格执行 2 个半小时加热的工艺，并假定炉底恒速转动，那么每转动一个角度的时间为 2.68 分钟。按此计算，1 小时 06 分钟车轮刚从第 25 个角度转到第 26 个角度，2 小时 10 分钟后车轮在第 48 个角度并马上转到第 49 个角度。剩下 8 个角度（21 分钟）用于温度均匀化。从第一次试验来看，相变完成后 21 分钟尚不能实现轮辋的温度均匀化，内外温差接近 30。但从第二次试验来看，轮辋温度均匀化的不是问题，因为轮辋最大温差仅有 8，且在装炉 2 小时 21 分钟后，轮辋内外温差就已经接近零了。目前，车轮轮箍分公司的车轮生产工艺流程安排是，在等温后淬火前有一道初加工工序，所以加热车轮的表面状况同第二次试验。所以我们认为，不必考虑温度均匀化的问题。

3. 加热速度

温度变化速度对于热处理来说是一个重要的因素。就淬火加热而言，值得关注的是最大加热速度以及临界相变时和转变区间的加热速度，尤其是临界相变时和转变区间的加热速度决定着 Ac_1 和 Ac_3 的温度值以及转变速度。具体到这两次试验，考察的是分别在 300~500、710~720 和 730~760 个温度范围内的加热速度，见表 3。

表 3、加热速度

	300~500		710~720		730~760	
	近踏面 /s	轮辋中心 /s	近踏面 /s	轮辋中心 /s	近踏面 /s	轮辋中 心 /s
第一次	0.25	0.22	0.09	0.05	0.04	0.03
第二次	0.18	0.17	0.05	0.05	0.02	0.02

总体来看，第一次试验中轮辋内外三个阶段的加热速度均高于第二次试验。其原因在上



北京赛维美高科技有限公司

Beijing Savemation Technology Co., Ltd.

面提到过，因为两次试验采用的试验车轮的表面状况不同。从表 1 数据来看，第一次加热速度快，所以完成转变也快。

相变开始前加热速度为 $0.05\sim 0.09$ /s，相变过程中加热速度为 $0.02\sim 0.09$ /s，根据以往试验，在这种加热速度条件下，CL60 钢的 Ac_1 、 Ac_3 分别在 725 和 765 左右。两次试验得到的加热曲线相变平台进一步证明了这点。

加热温度跟踪试验得到的加热速度可作为更深入研究的输入条件。可以认为，1998 年马钢钢铁研究所在通过热模拟试验测定 CL60 钢的 CCT 曲线时设定相变前加热速度为 10 /s 和相变过程加热速度为 0.05 /s，是与车轮热处理生产实际相符合的。

四. 结论

1. 对于 KKD 车轮来说，临时淬火加热工艺是合理的。
2. 加热时间宜控制在 2 个半小时以内，否则导致辐板因保温时间过长而导致奥氏体晶粒长大，最终影响回火后车轮的辐板冲击韧性。
3. 对于经机加工的光亮车轮来说，加热过程中的内外温度差不大，加热速度仍有提高的空间。提高加热速度后，不仅能够加快相变的速度，增加 4# 炉的小时产量（当然 4# 炉的小时产量在很大程度上受淬火台生产能力的限制），而且能有效减小奥氏体的晶粒度，对改善热处理后的车轮力学性能有利。
4. 可尽量提升预热段的温度，并且在加热一段、加热二段和均热段全部按 860~880 控制。

作者简介：

安涛（1966 年-），男，河南人，1986 年毕业于北京科技大学轧钢专业，工科学士，高级工程师，现任马钢车轮轮箍分公司总工程师。

参考文献

- [1] 《车轮轮箍生产》编委会. 车轮轮箍生产（下册）[M]. 北京：冶金工业部工人视听教材编辑部，1992 年.
- [2] 中国机械工程学会热处理学会《热处理手册》编委会. 热处理手册（第 1 卷）[M]. 北京：机械工业出版社，2002 年.
- [3] 中国机械工程学会热处理学会《热处理手册》编委会. 热处理手册（第 1 卷）[M]. 北京：机械工业出版社，2002 年.