

· 工艺研究 ·

# 高锰钢的热处理

吴霞<sup>1</sup>, 董志鑫<sup>2</sup>, 岳学庆<sup>3</sup>, 王华<sup>3</sup>

(1 秦皇岛首创水务有限责任公司, 河北 秦皇岛 066004; 2 厦门大学化学化工学院化学系, 福建 厦门 361005; 3 秦皇岛职业技术学院机电工程系, 河北 秦皇岛 066004)

**摘要:** 本文介绍了入炉温度、升温速度、保温温度、保温时间、冷却速度、摆放位置等热处理工艺参数对高锰钢力学性能的影响。

**关键词:** 高锰钢; 热处理; 力学性能

中图分类号: TG 162.9 文献标识码: A 文章编号: 1673-4971(2009)01-0044-04

## Heat Treatment for High Manganese Steel

WU Xia<sup>1</sup>, DONG Zhixin<sup>2</sup>, YUE Xueqing<sup>3</sup>, WANG Hua<sup>3</sup>

(1 Qinhuangdao Shouchuang Water Investment Co., Ltd., Qinhuangdao Hebei 066004, China; 2 Department of Chemistry, College of Chemistry and Chemical Engineering, Xiamen University, Xiamen Fujian 365001, China; 3 Department of Mechanical and Electronic Engineering, Qinhuangdao Higher Vocational and Technical College, Qinhuangdao Hebei 066100, China)

**Abstract** This paper introduces the effect of heat treatment parameters including charging temperature, heating rate, holding temperature, holding time, cooling rate, putting position etc on the mechanical properties of high manganese steel.

**Key words** high manganese steel; heat treatment; mechanical properties

### 0 前言

高锰钢的热处理是将高锰钢铸件加热到碳化物固溶的温度, 并保温一定时间, 然后在水中快速冷却, 形成单一的奥氏体组织, 使其强度和韧性大大提高, 达到可加工硬化的目的。与普通碳钢不同, 高锰钢在水中淬火后不是变硬, 而是变软了, 因此高锰钢的热处理又叫水韧处理。在热处理过程中, 碳化物是在固溶态下溶解到奥氏体中去的, 所以又叫固溶强化处理。高锰钢固溶处理的参数主要有入炉温度、升温速度、保温温度、保温时间、摆放位置等。

### 1 入炉温度和加热速度

高锰钢铸件在入炉之前, 铸件表面的粘砂、披缝

和浇注冒口要清理干净。粘砂对铸件加热或冷却都有隔热作用, 使铸件加热和入水后的冷却不均匀, 严重粘砂会降低铸件入水后的冷却速度, 造成晶界碳化物重新析出。披缝较薄, 在热处理加热时会脱碳, 水淬后会变成马氏体, 马氏体相变体积膨胀, 可能会使铸件基体受到拉应力而开裂。高锰钢导热性能低, 100℃以下为碳钢的 1/4~1/6 倍, 600℃时为碳钢的 1/2~5/7 倍。高锰钢热膨胀系数大, 为碳钢的 2 倍, 500℃以上更大。虽然铸件在低温加热过程中无相变应力发生, 但加热到 300℃以上, 会在晶内和晶界上出现脆性碳化物增多的现象, 有时会发生珠光体转变。高锰钢辙叉结构复杂, 同一铸件壁厚相差悬殊, 铸件本身存在不小不等的铸造应力。在热

收稿日期: 2008-10-24

作者简介: 吴霞 (1976-), 女, 主要从事水污染防治方面的研究

联系电话: 13933911319; E-mail: qhdwuxi@sina.com

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

处理的加热或冷却过程中不同部位存在较大的温差,产生热应力。这样,热应力和铸造应力叠加,会使辙叉产生裂纹。因此,必须控制高锰钢辙叉的入炉温度和加热速度。

高锰钢辙叉热处理工艺分两种:冷辙叉处理和热辙叉处理。对于热辙叉,如果装入同一窑的所有辙叉的装窑温度基本和窑温一致,则这种工艺可以节能,提高效率。但在实际生产中装窑温度很难与窑温一致,且相差较大,主要原因有:不同炉次的辙叉开箱水爆后在同一窑中进行热处理,造成同一窑中辙叉的初始温度不同;由于连续生产,每天窑的温度也不尽相同;季节性的温度变化导致辙叉与窑温的变化较大;辙叉在窑内的排序不同会造成一定的温差。这样导致辙叉与炉窑存在较大温差。沈阳铁路局薛家配件厂老工艺的热辙叉升温起点高(450℃),升温速度快(150℃/h)。由于高锰钢导热性差,就会使辙叉内部产生较大的热应力,在随后的水淬急剧冷却处理中或前期升温时发生开裂。对于冷辙叉(温度为室温)前期均温不够、保温时间短、升温起点高(分别为400℃和200℃),升温快(分别为160℃/

h和90℃/h)。这样升温曲线起点、辙叉和炉窑起始温度存在较大温差,导致辙叉在水韧处理后开裂。图1是他们改进后的高锰钢辙叉热处理工艺。在新工艺中,冷辙叉的装窑温度降到室温,热辙叉装窑温度降到150℃。两种辙叉入窑后都均温1.0~1.5h后再升温。在650℃以下升温时,由于高锰钢晶界和晶内会析出碳化物,有时还会发生珠光体转变,因此升温速度要慢。改进后的工艺,冷、热两种辙叉从150℃升温到650℃时,升温速度均为90℃/h,冷辙叉在150℃以下升温速度要降到70℃/h。此外,在650℃以下升温时,升温速度随高锰钢中C、P含量增加而放慢,这是因为C、P含量与热处理时加热裂纹密切相关。升温到650~700℃时,要保温1~2h,目的使辙叉温度均匀,消除铸造应力。温度大于650℃,超过了高锰钢的弹性变形温度,高锰钢由弹性状态进入塑性状态,而且脆性碳化物逐渐溶解到奥氏体中去,钢的强度和塑性得到改善,加上保温处理,铸造应力得到消除。因此随后可以快速升温,升温速度大于100℃/h,甚至到150℃/h。

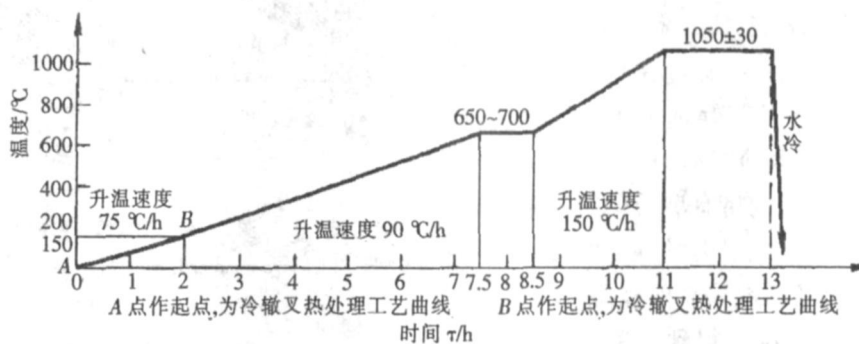


图 1 高锰钢辙叉改进后的热处理工艺

Fig. 1 Heat treatment process in proved for high manganese steel crossing

## 2 固溶处理温度和保温时间

固溶处理温度和保温时间确定的根据为:碳化物充分溶解、奥氏体适当的晶粒度、钢中化学成分均匀,得到最佳的力学性能、防止过热组织出现。

TB/T447-2004规定对不含其他合金元素高锰钢辙叉的水韧处理温度为1000~1100℃。渗碳体型的碳化物溶解过程是碳从碳化物中向奥氏体中扩散,原来渗碳体相的铁原子自扩散,并形成面心立方的奥氏体。 $(FeMn)_3C$ 型碳化物中的碳原子和其它原子作用力较弱,扩散过程容易进行,溶解速度较

快。加热到1000℃, $(FeMn)_3C$ 即可全部分解。为了加速分解、溶解和扩散,促进成分均匀化,固溶温度为1050~1100℃已足够了。温度超过1050℃时,奥氏体晶粒开始长大。当温度达到1120℃时,奥氏体晶粒明显长大。温度大于1150℃时,晶粒粗大,出现过热组织。

对于含有铬、钼、钒、钛等碳化物形成元素的高锰钢,在组织中会有特殊碳化物,其溶解较困难,其固溶温度应提高30~50℃。如马广清等人<sup>[2]</sup>的研究表明,对于含铬、钼、钒的高锰钢,水韧处理温度为

1050 ℃时,不能使奥氏体转变完全,碳化物也不能充分析出;在 1100 ℃加热温度下,奥氏体转变完全、晶粒细小,碳化物弥散其中,并有较好的力学性能。而水韧温度为 1150 ℃时,晶粒有变大趋势。保温时间只要能使碳化物充分溶解、成分基本均匀即可。过长的保温时间对力学性能无益。表 1 为保温时间对高锰钢辙叉力学性能的影响,其中铸件的化学成分、加热时间及保温温度(1080 ℃)均相同。从表 1 可以看出,保温 0.5 h 显然不足,保温 2 h 效果最好,超过 2 h 时性能有所下降。由于各厂家在保温之前热处理工艺不尽相同,保温时间有所差别,根据目前收集到的文献<sup>[3~6]</sup>,高锰钢辙叉保温时间为 2~6.5 h。

表 1 保温时间对高锰钢力学性能的影响

Table 1 Effect of holding time on mechanical properties of high manganese steel

保温时间/h	$\sigma_{0.2}$ /MPa	$\sigma_b$ /MPa	$\delta$ (%)	$\psi$ (%)	$\alpha_k$ /J cm <sup>-2</sup>
0.5	389.32	789.44	41.5	32.4	263.80
1.0	406.98	739.42	28.2	32.5	267.72
2.0	394.23	769.82	33.3	34.8	281.45
3.0	400.11	751.19	32.4	37.4	232.42

### 3 水韧处理中的冷却

冷却的目的是得到过冷奥氏体,即把高温奥氏体组织保留到常温。为保持碳化物完全溶解和获得稳定的奥氏体组织,必须从高锰钢奥氏体化温度快速冷却。在超过  $A_{cm}$  温度冷却时,保证碳化物完全溶解到固溶体中的温度比维持有奥氏体组织温度要高些。表 2 是不同冷却方式对力学性能的影响。从表 2 可以看出,高锰钢经高温保温阶段后,要以尽量快的速度水淬冷却,使高温时得到的单相奥氏体组织保持到常温。如果高锰钢铸件水淬前温度过低,组织中会析出碳化物。析出的碳化物首先在晶界上出现,在水淬时会被保留下来,除非经过重新加热处理否则不可能消除。当它的析出数量较多时,在激冷的收缩应力作用下会使铸件在晶界处出现淬火裂纹。在 960 ℃,由于相变,碳化物开始从奥氏体中析出,到 900 ℃以下,析出速度加快。因此规定高锰钢铸件从打开炉门到入水的时间不能超过 1 min,以保证铸件在 900 ℃以上入水。高锰钢在空气中,从 1080 ℃降到 900 ℃要 1 分多钟。该时间最好不超过 30 s,因为 30 s 可使铸件降温 70~90 ℃,30 s 内可使铸件在 960 ℃以上入水。为了使高锰钢辙叉出炉后迅速入水,热处理时将辙叉放在窑内反转式台车上。保温结束后,将台车拉到水池边,台车反转,整车辙

叉进入水中。水淬时冷却速度不足也会在冷却过程中从奥氏体中析出碳化物。为使水淬时有更好的散热条件,水池中水容量要求为铸件重量的 8~10 倍。如水池是循环冷却水,可适当减少水池容积。水池的深度要保证铸件全部浸没在水中。入水时要求水温小于 45 ℃,最好小于 30 ℃,处理后水温小于 60 ℃,以保证冷却速度。向池内吹入压缩空气,或是设法使铸件在水池中往返移动,可加快传热过程。高锰钢铸件冷却速度要达到 30 ℃/s。

表 2 冷却方式对高锰钢力学性能的影响

Table 2 Effect of cooling mode on mechanical properties of high manganese steel

冷却条件	抗弯强度/MPa	挠度/mm
1050 ℃保温 90 min 在水淬	914.96	63
1050 ℃保温 90 min 在炉冷 2 m 在水淬	884.56	56
1050 ℃保温 90 min 在空冷 2 m 在水淬	877.70	53

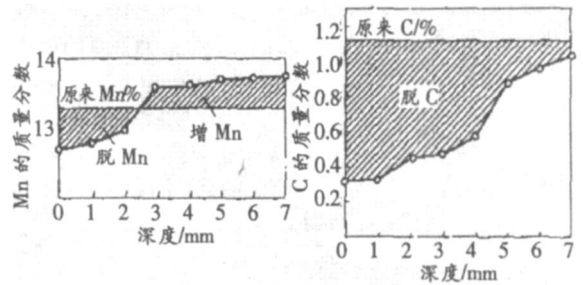


图 2 高锰钢表面碳和锰的变化趋势

Fig. 2 Change trend of C and Mn on surface of high manganese steel

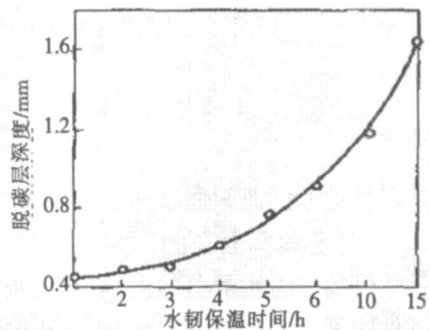


图 3 保温时间对高锰钢表面脱碳层厚度的影响

Fig. 3 Effect of holding time on decarburization layer thickness of high manganese steel

### 4 高锰钢的脱碳现象

在热处理过程中,高锰钢经常发生脱碳现象。固溶温度越高,高温下保温时间越长,高锰钢常常在

炉内氧化气氛中脱碳。图 2 是高锰钢在 1100 °C 保温 2 h 后, 工件表面碳和锰元素的变化趋势。图 3 显示了固溶保温时间对高锰钢表面脱碳层厚度的影响。由于表面贫碳、贫锰, 水韧后在表面出现马氏体转变, 而基体仍为奥氏体。因此研究高锰钢性能时, 应避免使用表面层试样。由于表层与基体组织不同, 表层和基体之间出现应力, 在随后的水淬冷却过程中, 两种组织的线收缩率不同, 使表层容易开裂。脱碳会使高锰钢力学性能下降。为避免脱碳, 高锰钢热处理过程的温度要尽量低, 速度要尽量快, 或者使用保护气氛<sup>[7]</sup>。辙叉水韧处理后, 应将表面的脱碳层打磨掉。

### 5 码放位置

研究表明, 高锰钢辙叉产生裂纹的几率与其在窑炉中的位置有关。

图 4<sup>[8]</sup>显示了辙叉在窑内的摆放位置。窑炉内台车上共有 5 层辙叉。其中第五层辙叉产生裂纹几率最小, 第三层产生裂纹的几率最大。这是由于第

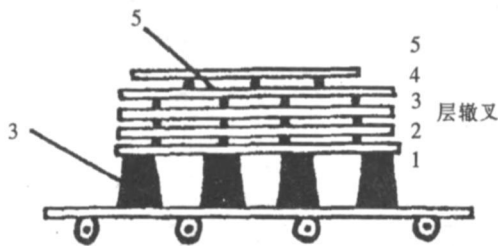


图 4 窑内辙叉摆放位置

Fig 4 Putting position of crossing in stove

三层、第二层和第四层的辙叉相互遮挡面积大, 炉气在炉窑内热循环不良、均温效果差的结果。通过降低挡火墙高度, 使第三层和第二层辙叉出现裂纹的几率有所下降。

由此可见, 辙叉热处理裂纹与辙叉在窑内的位置大有关系, 且不同的位置均有可能产生裂纹, 无论是中间位置, 还是顶部和边缘位置。

此外, 相同层次不同结构的辙叉出现裂纹的几率也不一样。杂型结构辙叉比单开辙叉出现裂纹的几率要大, 这是因为杂型结构复杂, 铸造残留应力大, 同时, 不同部位温差也大。

### 参 考 文 献

- [1] 周福廷. 高锰钢铁路辙叉热处理工艺的改进机械个人热处理 [J]. 2007, (7): 52-53
- [2] 马广清, 于文馨, 翟启杰等. 水韧处理工艺对合金高锰钢组织和性能的影响 [J]. 铸造, 2004, 53(4): 308-309.
- [3] 邹建, 赵德才, 孟宪嘉等. 改进工艺, 解决辙叉裂纹问题. 铸造设备研究 [J]. 1999 (3): 18-20
- [4] 谢敬佩, 李卫, 宋延沛等. 耐磨铸钢及熔炼 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2003
- [5] 张增志. 耐磨高锰钢 [M]. 北京: 冶金工业出版社, 2002.
- [6] 陈希杰. 高锰钢 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1989.
- [7] W. Smith, A. DeMonte, W. B. F. Mackay. Development of high-manganese steels for heavy duty cast-to-shape applications [J]. Materials Processing technology 153-154(2004)589-595.
- [8] 汪广志. VRH 法辙叉热处理裂纹分析与预防对策 [J]. 国外金属热处理, 2000, 21(3): 40-41.

## 长春一汽嘉信热处理科技有限公司公告

2008年 12月 30日, 孕育已久的长春一汽嘉信热处理电镀科技有限公司的企业改制业已落下帷幕, 伴随着新年的钟声长春一汽嘉信热处理科技有限公司已经正式成立了。新公司是以原 "长春一汽嘉信热处理电镀科技有限公司" 中工业炉制造和热处理加工两大主要业务为母体, 由中国第一汽车集团公司和经营管理层共同出资组建的股份制公司, 张林成先生担任长春一汽嘉信热处理科技有限公司董事长兼总经理, 原 "长春一汽嘉信热处理电镀科技有限公司" 总经理谢飞先生在新公司不再任职。本公司承继了原企业中热处理设备的研发、制造、安装、调试、营销、售后服务、热处理备件供应、热处理加工、热处理培训及技术指导等全部业务, 新公司云集了原嘉信公司全部核心技术人才, 新企业成立之初即得到了中国第一汽车集团公司全方位的鼎力支持, 三万平方米的热处理设备制造基地及热处理加工和培训基地将于本年度建成, 未来的 "一汽嘉信" 将建设成为中国热处理行业的标准化企业, 全新的企业体制机制, 全新的企业经营理念, 全新的企业精神风貌, 全新的服务宗旨, 定将给用户带来全新的、优质的、满意的服务!

长春一汽嘉信热处理科技有限公司

2009年 1月 5日