

Cr26 型高铬铸铁组织性能及其热处理工艺

毛双亮¹, 水恒勇², 陈闪闪², 赵爱民²

(1. 山西百一机械设备有限公司, 山西 太原 030003; 2. 北京科技大学冶金工程研究院, 北京 100083)

摘要: 研究了 Cr26 高铬铸铁化学成分的控制范围和热处理工艺对其硬度和冲击性能的影响, 分析了该成分高铬铸铁经过不同热处理后的组织。结果表明, 采用文中所述生产工艺和 $1\ 040\ ^\circ\text{C} \pm 10\ ^\circ\text{C} \times 6\ \text{h}$ 特殊淬火液淬火 + $275\ ^\circ\text{C} \times 6\ \text{h}$ 或 $440\ ^\circ\text{C} \times 6\ \text{h}$ 回火的热处理工艺, 高铬铸铁硬度达 60 HRC 以上, 冲击韧度达 $10\ \text{J}/\text{cm}^2$, 其耐磨性是高铬铸铁 Cr15 的 1.32 倍, 高锰钢 ZGMn13 的 1.95 倍。

关键词: 高铬铸铁; 热处理; 硬度; 冲击韧度; 耐磨性

中图分类号: TG143.7; TG113 文献标识码: A 文章编号: 1000-8365(2011)09-1230-04

Microstructures and Properties of Cr26 High Chromium Cast Iron and Its Heat Treatment

MAO Shuang-liang¹, SHUI Heng-yong², CHEN Shan-shan², ZHAO Ai-min²

(1. Shanxi Baiyi Machinery Co., Ltd., Taiyuan 030003, China; 2. Research Institute of Metallurgy Engineering, Beijing University of Science and Technical, Beijing 100083, China)

Abstract: The chemical composition of Cr26 high chromium cast iron and the effects of heat treatment on its the hardness, impact toughness were studied in this paper. And its microstructures of this kind high chromium cast iron treated by different heat treatment technology were studied as well. The results show that the hardness of the experimental high chromium cast iron is upward of 60 HRC when the high chromium cast iron is quenched in special agent after heating to $1\ 040\ ^\circ\text{C}$ and hold at this temperature for six hours and then tempered at $275\ ^\circ\text{C}$ or $440\ ^\circ\text{C}$ for six hours. And its impact toughness is up to $10\ \text{J}/\text{cm}^2$. The wear-resisting property is 1.32 times higher than that of the Cr15 high chromium cast iron and 1.95 times higher than the high manganese steel ZGMn13.

Key words: High chromium cast iron; Heat treatment; Hardness; Impact toughness; Wear resistance

一般工业生产中应用的高铬铸铁 Cr 含量为 10% ~ 30%, 其微观组织中碳化物以 $(\text{Fe}, \text{Cr})_7\text{C}_3$ 型为主, 显微硬度高达 $1\ 500 \sim 1\ 800\ \text{HV}$, 并且呈现断续状或棒条形态, 显著地提高硬度和韧性^[1]。国标 GB/T8263 按照铬含量不同分为 Cr12、Cr15Mo、Cr20Mo 和 Cr26 几种类型, 其中 Cr26 型高铬铸铁 Cr 含量为 23% ~ 28%, 并根据生产不同的耐磨件, 可以含有一定数量的 Mo、Ni 和 Cu^[2]。英国标准 BS4884 按照含碳量将 Cr26 型分为高碳和低碳两个牌号。由于 Cr26 型含铬量高, 进入基体的铬高于 Cr12、Cr15Mo, 将有利于提高合金的淬透性, Cr26 型高铬铸铁的研究受到人们的重视^[3~6]。本文针对火力发电厂应用的磨辊、衬

板和磨球等耐磨件的使用条件, 开发一种高硬度的 Cr26 型的高铬铸铁, 对其进行成分设计, 研究熔炼工艺和热处理工艺, 实验测量其力学性能和观察金相组织。

1 成分设计

成分设计的主要思路是: ①加大含碳量以获得足够数量的高硬度共晶碳化物。但含碳量过高, 碳化物成网状, 脆性加大; ②含铬量适当, 以保证在较低加入量时仍有足够数量共晶碳化物生成, 且铬、碳比在此范围内时, 基体组织淬火后主要为马氏体; ③进行低温回火处理, 消除淬火应力, 以减小开裂倾向。

1.1 碳

C 对材料的硬度影响最大, 硬度随含 C 量的增加而提高。碳为生成共晶碳化物 $(\text{Cr}, \text{Fe})_7\text{C}_3$ 的主要元素, 共晶碳化物在耐磨性方面起重要作用。当含 C 量

收稿日期: 2011-05-03; 修订日期: 2011-06-16

作者简介: 毛双亮(1960-), 山西定襄人, 高级工程师。研究方向: 铸造新技术, 铸铁, 铸造特种合金。

Email: tiscmsl@163.com

较高时, 组织中碳化物数量增多, 初生碳化物粗大, 硬度进一步提高, 但对基体的割裂程度增大, 材料的韧性、强度下降, 将含碳量控制在 2.4% ~ 2.9%。

1.2 铬

高铬铸铁耐磨性能主要取决于基体组织中碳化物的含量, 碳化物越多, 硬度越高, 耐磨性能就越好。高铬铸铁中共晶碳化物数量的 Marafay 计算公式: $M_7C_3(\%) = 12.33(C\%) + 0.55(Cr\%) - 15.2$, 很显然, 当含碳量相同时, Cr26 的碳化物数量明显高于 Cr15。而且随着 Cr/C 的提高, 共晶碳化物的硬度也随之提高, 但韧性下降, 易破碎, 这也是生产 Cr26 高铬铸铁比生产 Cr15 高铬铸铁技术难度更大的重要原因之一。因此确定含铬量在 23% ~ 28%^[3,4]。

1.3 锰

Mn 具有提高淬透性和很强的稳定奥氏体的作用, 降低马氏体转变开始温度。锰量较高时, 部分锰与碳化合, 存在于共晶碳化物中。锰在高铬铸铁中既是合金元素又是常存元素, 但在 Cr26 高铬铸铁中 Cr/C 较高, 已稳定了奥氏体, 因此控制 Mn 在 0.5% ~ 1.0%, 同时也避免在发生马氏体转变时因锰量过高而产生粗大的针状马氏体、增加残余奥氏体数量。

1.4 硅

高铬铸铁中硅量不易过高, 硅主要固溶于基体中, 在共晶碳化物周边硅浓度有所富集, 而铬的浓度降低, 易形成硬而脆的马氏体和微观裂纹, 并沿界面扩张, 是材料微观剥落的促成因素。硅作为高铬铸铁的常存元素一般控制在 0.4% ~ 1.0%^[4]。

1.5 钼和镍

钼部分固溶在基体中。钼能提高共析转变温度, 推迟奥氏体转变的孕育期, 使连续冷却曲线右移, 显著降低临界冷却速度; 钼强化奥氏体脱稳反应, 有效提高马氏体转变点 M_s , 是提高淬透性的有效元素。但由于钼的价格较贵, 一般控制在 1.5% 以下。镍无限固溶于奥氏体中, 不形成碳化物, 使奥氏体连续冷却曲线右移, 扩大奥氏体相区, 降低临界冷却速度, 也降低马氏体转变开始温度 M_s , 是稳定奥氏体的主要合金元素。镍在高铬铸铁中的使用量一般为 $\leq 1.5\%$ 。镍能提高高铬铸铁的冲击韧度和高温耐磨性^[4]。

1.6 硫和磷

硫和磷是高铬铸铁中的有害元素, 由原材料带入, 希望越少越好, 一般控制在 $S \leq 0.06\%$, $P \leq 0.08\%$ 。

1.7 稀土合金

稀土合金主要用于孕育处理, 一般加入量为 0.3% ~ 1.0%。

2 热处理工艺

采用 0.5 t 中频炉熔炼, 用金属型浇注成 $\phi 20 \text{ mm} \times 160 \text{ mm}$ 热处理试棒。热处理工艺如图 1, 淬火工艺采用两阶段加热, 即 680 °C 保温 2 h, 再均匀加热到 990、1 010、1 030、1 050 °C 保温 6 h, 回火采用 440 °C 和 275 °C 两种温度, 均保温 6 h。

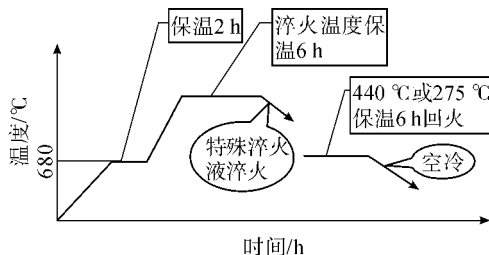


图 1 热处理工艺图

Fig. 1 Procedure of heat treatment

3 力学性能检测结果

力学性能测量结果见表 1。可以看出, 淬火温度低于 1 010 °C 时, 无论回火温度如何变化, 热处理后硬度均小于 60 HRC, 这说明淬火温度太低, 二次碳化物没有充分析出, 导致硬度偏低。在 1 030 ~ 1 050 °C 淬火, 275 °C 和 440 °C 回火或不回火, 硬度都大于 60 HRC。同时可以看出, 275 °C 回火对硬度影响不大, 冲击韧度略有提高; 440 °C 回火后冲击韧度提高, 但硬度略有下降。由此可知, 对这种成分的高铬铸铁, 要使淬火硬度达到 60 HRC 以上, 冲击韧度达到 10 J/cm² 以上, 理想的热处理工艺是: 淬火温度应在 1 030 °C 或 1 050 °C, 保温 6 h, 淬火介质采用特殊淬火液, 且在 275 × 6 h 回火或 440 °C × 6 h 回火。

表 1 力学性能检测结果

Tab. 1 Results of mechanic property tests

试样编号	淬火温度 / °C	回火温度 / °C	平均硬 度/ HRC	冲击韧度 /(J/cm ²)
1-1	1 050	未回火	62.5	9.58
1-2	1 050	275	62.1	10.29
1-3	1 050	440	61.3	10.79
2-1	1 030	未回火	61.5	10.25
2-2	1 030	275	61.6	11.56
2-3	1 030	440	60.5	12.67
3-1	1 010	未回火	59.2	12.14
3-2	1 010	275	58.9	13.53
3-3	1 010	440	57.6	13.82
4-1	990	未回火	57.8	12.81
4-2	990	275	57.2	13.22
4-3	990	440	56.0	13.86

4 金相组织

在光学显微镜下观察, 高铬铸铁试样的微观组织为典型的亚共晶白口铸铁组织形态, 由初生奥氏

体的低温转变组织和共晶体组成。图 2 是试样 1-3 的组织照片,从图 2a 中可以看出高温奥氏体呈枝晶状分布,从图 2b 的高倍金相照片可以看出,高温下

初生奥氏体中已经析出细小的二次碳化物,共晶组织中碳化物呈断网状或块状,说明采用稀土变质处理获得较好的效果。

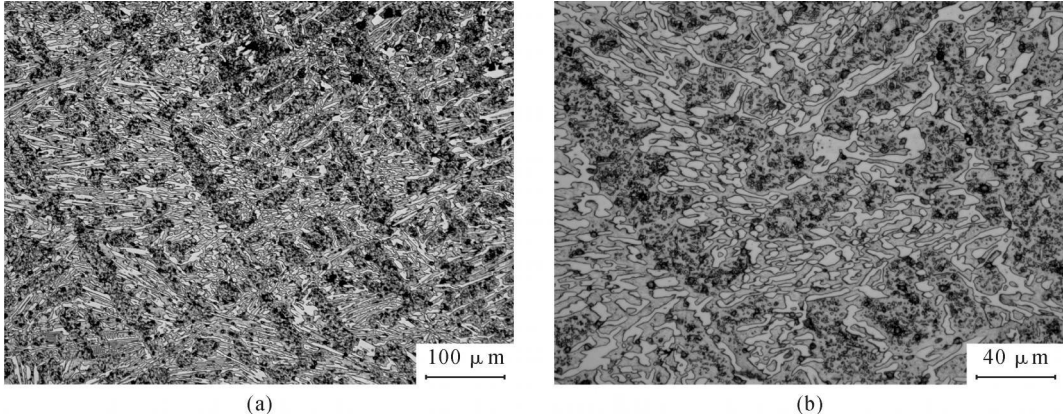


图 2 试样 1-3 光学显微镜照片

Fig.2 Microstructure of sample 1-3

在扫描电镜下观察,高温奥氏体在室温下已经转变为马氏体组织,图 3 是试样 1-3 的扫描电镜照片。可以看出,共晶奥氏体已经转变针状的马氏体和少量的残留奥氏体,没有二次碳化物析出。高温下初生奥氏体在转变为马氏体之前已经析出大量的二次碳化物。图 4 为不同淬火和回火试样的扫描电镜照片,可以看出淬火温度和回火温度对这种二次碳化物的析出有明显的影

响。淬火温度高,初生奥氏体中析出的二次碳化物颗粒较大,数量较少;淬火温度低,析出的二次碳化物颗粒数量较多,尺寸较小。比较图 4c 和 d,其淬火温度相同,图 4c 中为经过 440 ℃回火,淬火的基体组织上分布着比二次碳化物更细小的颗粒,而图 4d 为未回火,试样中观察不到这样细小的颗粒,这说

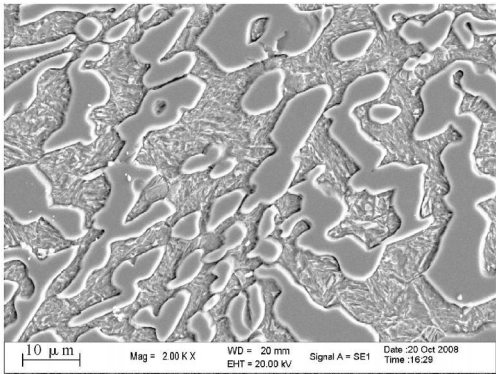


图 3 试样 1-3 扫描电镜照片(共晶组织)

Fig.3 ESM image of sample 1-3

表 2 磨损实验结果

Tab.2 Result of wearing test

试样编号	材料	热处理	磨损前重量/ g	磨损后重量/ g	失重/ g	平均失重/ g	相对耐磨性
1-3	Cr26	1050 ℃淬火+ 440 ℃回火	3.770 00	3.681 18	0.088 82	0.090 985	1.95
1-3			3.552 03	3.458 88	0.093 15		
2-3	Cr26	1030 ℃淬火+ 440 ℃回火	3.486 59	3.393 25	0.093 34	0.096 40	1.84
2-3			3.370 55	3.271 10	0.099 45		
3-3	Cr26	1010 ℃淬火+ 440 ℃回火	3.893 10	3.788 52	0.104 58	0.098 38	1.80
3-3			3.668 37	3.581 59	0.086 78		
4-3	Cr26	990 ℃淬火+ 440 ℃回火	3.263 90	3.159 14	0.104 76	0.106 73	1.66
4-3			3.236 55	3.127 85	0.108 70		
5-1	Cr15	淬火+ 回火	3.986 80	3.867 78	0.119 02	0.119 91	1.48
5-1			4.015 88	3.895 09	0.120 79		
6-1	Mn13	水韧处理	3.753 00	3.583 21	0.169 79	0.177 33	1.00
6-1			3.579 55	3.394 68	0.184 87		

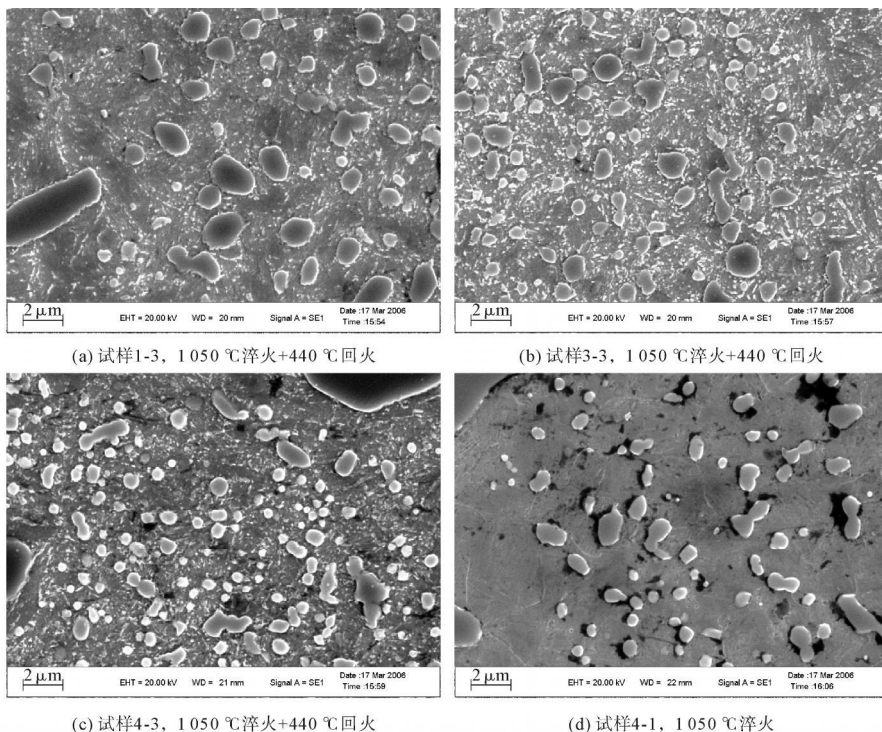


图4 热处理试样扫描电镜照片

Fig.4 ESM image of heat treated sample

金相观察表明, 采用不同温度的4种热处理工艺得到的微观组织基本相同, 都由马氏体+ 碳化物+ 残余奥氏体组成, 原初生奥氏体在加热奥氏体化后, 淬火析出二次碳化物, 并转变为马氏体和少量的残留奥氏体。为什么淬火温度低于1 030 ℃时硬度值低于60 HRC, 分析认为可能与微观组织中残留奥氏体数量有关, 而残留奥氏体的数量与基体组织中二次碳化物析出行为有一定的联系。

5 磨损试验结果

采用ML-10型销盘磨损试验机进行磨损实验, 试样尺寸为 $\phi 6\text{ mm} \times 20\text{ mm}$, 用150目氧化铝水砂纸作为磨料, 载荷为4.6 kg, 转速为120 r/min, 经过预磨后, 在型号为DT-100(精度万分之一克)光电天平上称量, 作为磨损实验前的重量, 然后采用新砂纸进行磨损实验, 测量磨损前后的失重。为了进行对比, 同时测量了Cr15高铬铸铁和Mn13高锰钢的磨损失重, 并将Mn13作为对比的标准, 计算出不同试样的相对耐磨性。为了保证实验的精确性, 采用双试样进行实验。

从表2可见, 设计成分的高铬铸铁的耐磨性能与热处理工艺有关, 关键是热处理后的硬度和冲击值, 硬度对耐磨性起主要作用^[7]。耐磨性最好的是淬火温度为1 050 ℃, 失重量最低为0.090 985 g, 其相对耐磨性是Cr15的1.32倍, 是Mn13的1.95倍。

6 结论

(1) Cr26高铬铸铁经过合理的成分设计和热处理

理硬度达60 HRC以上, 冲击韧度为10 J/cm²。

(2) 设计成分的Cr26, 理想的热处理工艺是: 淬火温度1 040 \pm 10 ℃, 保温6 h, 采用特殊淬火液, 且在275 ℃或440 ℃保温6 h回火。

(3) 实验Cr26铸铁的微观组织由马氏体+ 碳化物+ 残余奥氏体组成。淬火温度高, 析出的二次碳化物颗粒较大, 数量较少; 淬火温度低, 析出的二次碳化物颗粒数量较多, 尺寸较小。共晶奥氏体转变为针状的马氏体和少量的残留奥氏体, 没有二次碳化物析出。

(4) 实验Cr26铸铁的耐磨性能是Cr15高铬铸铁的1.32倍, 是Mn13高锰钢的1.95倍。

参考文献

- [1] 张清. 金属磨损和耐磨材料手册[M]. 北京: 冶金工业出版社, 1991.
- [2] 全国铸造标准化委员会编. 铸造标准汇编[M]. 北京: 中国标准出版社, 2006.
- [3] 刘贞, 王永庆, 高建英. Cr26高铬白口铸铁的研究与生产[J]. 现代铸铁, 2006, (5): 28-32.
- [4] 陈璟璐, 余自更, 许光奎, 等. 合金高铬铸铁及应用[M]. 北京: 冶金工业出版社, 1999.
- [5] 黄四亮. 高铬白口铸铁(10%~28% Cr)热处理工艺研究与探讨[J]. 铸造技术, 2000, (6): 43-27.
- [6] 方亮. 高铬铸铁的回火处理与残余应力[J]. 机械工程材料, 1987, (4): 25-27.