

文章编号:1671-6833(2009)03-0122-04

钨对 Cr20 高铬铸铁组织及性能的影响

刘晓芳, 赵靖宇, 孙玉福

(郑州大学 材料科学与工程学院, 河南 郑州 450001)

摘 要: 研究了钨元素对 Cr20 高铬铸铁组织及性能的影响. 试验结果表明, 钨元素在碳化物和基体中均匀分布, 钨的碳化物以 WC_{1-2} 、 $W_6C_{2.54}$ 、 CW_3 形式存在. 铸态组织为马氏体 + 奥氏体 + 碳化物. 含钨量质量分数为 1% 时, 硬度为 56~59 HRC, 冲击初度为 10~12 J/cm², 耐磨性是不含钨时的 2 倍, 含钨量达到 3% 时, 冲击初度明显下降, 但耐磨性是不含钨的 2.3 倍; 含钨量为 1.0% 的试样经 1 050 ℃ 淬火 250 ℃ 回火, 组织为马氏体 + 碳化物 + 少量残余奥氏体, 硬度为 60~61 HRC, 冲击初度为 8~9 J/cm², 其耐磨性是不含钨的 3.0 倍.

关键词: 钨; Cr20 高铬铸铁; 组织; 性能

中图分类号: TG 143.7 **文献标识码:** A

0 引言

众所周知, 材料的断裂、腐蚀及磨损是导致材料及设备失效的三大要素, 磨损失效使设备遭受的经济损失更加惨重. 据统计: 能源的 1/3~1/2 消耗于磨损, 材料的 80% 失效于磨损, 若再加上人力更换部件的停工, 则经济损失更大. 因此, 对耐磨材料的研究及对能提高材料耐磨性的新工艺的开发工作就显得至关重要. 高铬铸铁是最重要的耐磨材料之一, 适用于各种高应力中、低冲击载荷磨料磨损的工况条件, 广泛应用于机械、冶金、采矿及矿产品加工等行业. 各工业国家都很重视对高铬铸铁的研究工作, 国内外研究者尝试在高铬铸铁中加入 V、Ti、Nb 等元素, 以提高其耐磨性. 由于钨是强碳化物形成元素, 其碳化物硬度较高 (75 HRC), 而且稳定性较好, 故笔者通过加入钨元素, 提高碳化物的硬度, 增强碳化物稳定性, 进而提高高铬铸铁的耐磨性.

1 试验方法

1.1 试样制备

高铬铸铁炼采用中频感应炉, 加料的顺序为: 废钢、生铁、高碳铬铁, 后依次加入电解铜、钨铁、钼铁、锰铁. 熔炼温度 1 500 ℃, 迅速过热到 1 540~1 580 ℃ 出炉, 变质处理采用冲入法, 变质剂粒

度 1~3 mm, 烘干后置于包底, 变质剂配方见表 1, 变质处理后进行搅拌、扒渣, 浇注 20×20×110 无缺口冲击初度试样, 浇注温度控制在 1 380~1 450 ℃, 金相试样、XRD 试样、磨损试样均在线切割机床上从冲击初度试样 (不机加工) 切去, 合金成分见表 2.

表 1 变质剂配方

Tab. 1 compositions of the modifier %

原材料	钛铁	硼铁	钨铁	稀土硅铁	铝
加入量	0.3	0.2	0.15	0.5	0.1

1.2 微观组织观察及能谱分析

试样腐蚀剂为 FeCl₃ 溶液, 采用 OLYMPUS BH-2 金相显微镜观察微观组织, D/Max-3B 型自动 X 射线衍射仪分析试样相组成, Philips-quanta-2000 型扫描电镜观察组织及进行能谱分析.

1.3 性能测定

洛氏硬度在 HR-150 洛氏硬度计上测定, 用 JB-30 型摆锤式冲击实验机测定冲击初度, 在 ML-100 型磨料磨损实验机上测定耐磨性, 选 100 号刚玉砂纸为磨粒材料, 载荷为 4 N、5 N、9 N, 磨损距离为 50 m, 失重量采用 AB204-N 型电子分析天平 (0.1 mg) 称量.

收稿日期: 2009-01-22; 修订日期: 2009-03-28

作者简介: 刘晓芳 (1963-), 女, 广东人, 工程师, 主要从事材料显微方面的研究; 通讯联系人: 孙玉福 (1958-), 男, 河南浚县人, 郑州大学教授, 主要从事铸造合金及金属耐磨材料的研究. E-mail: yufusun@zzu.edu.cn.

表 2 合金化学成分
Tab.2 Chemical compositions of alloy

试样号	C	Cr	W	Si	Mn	Cu	Mo	Fe
0	3.02	20.32	0.03	0.82	1.01	1.09	0.98	余量
1	2.97	20.36	1.05	1.02	0.99	1.13	1.03	余量
2	3.06	20.93	2.89	0.86	1.05	1.06	0.97	余量

2 试验结果与讨论

2.1 钨对高铬铸铁组织的影响

图 1 是试样 3 铸态下各个元素的分布情况, C、Cr、Mn 主要分布于碳化物中,Cu、Si 主要存在基体中,而 Mo、W 并没有明显的分布特征. 钨既与碳形成碳化物,又固溶于基体,含钨的高铬铸铁中,钨在奥氏体和碳化物中的分布无大差别,与文献[1]报道的一致.

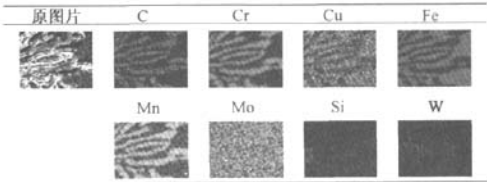


图 1 试样 2(铸态)中各元素分布
Fig.1 Distribution of elements in as-cast sample 2

据文献[2]报道,高铬铸铁中共晶碳和铬含量符合公式(1),但该文献并没有考虑硅的影响,

$$[\%C] + 0.0474 \times [\%Cr] = 4.3 \quad (1)$$

本试样硅质量分数在 1% 左右,根据 A. Bedolla Jacuinde 的报道^[3],在 Fe - C - Cr 三元相图中,随着硅含量的增大,先析出 M_7C_3 区域增大,先析出奥氏体区域减少. 所以用碳当量 $[\%CE]$ 代替 $[\%C]$ 计算结果如表 3 所示,试样 $[\%CE] + 0.0474 \times [\%Cr]$ 均在 4.3% 左右,为共晶组织. 图 2 是各试样的铸态组织,试样均有先析出的六方形的 M_7C_3 型碳化物,试样 1、2 相比较,试样 2 中的 M_7C_3 碳化物较多,而且形态更加粗大、不规则.

表 3 合金的 $[\%CE] + 0.0474 \times [\%Cr]$
Tab.3 $[\%CE] + 0.0474 \times [\%Cr]$ of alloy

试样号	C	Si	CE	Cr	$[\%CE] + 0.0474 \times [\%Cr]$
0	3.02	0.82	3.29	20.32	4.256 5
1	2.97	1.02	3.31	20.36	4.275 1
2	3.06	0.86	3.35	20.93	4.338 7

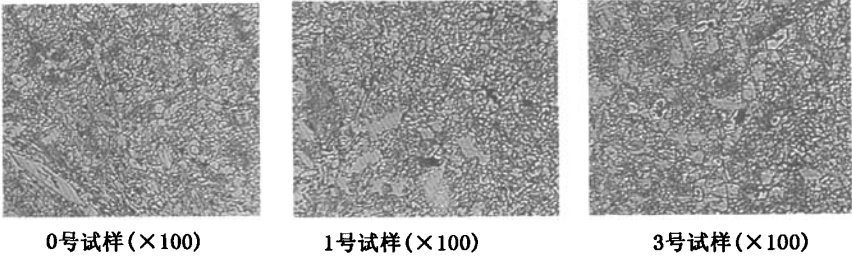


图 2 各试样铸态下的金相组织
Fig.2 Microstructure of as-cast samples

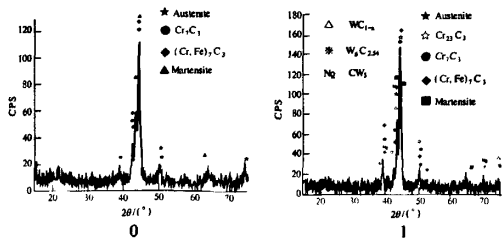


图 3 试样的 X 射线衍射图谱
Fig.3 X-ray spectrum of samples

图 3 是试样的 X 射线衍射图谱,可以看到, 试样 0、1 铸态下试样的组织是由马氏体、奥氏体和碳化物组成,碳化物以 M_7C_3 、 $M_{23}C_6$ 为主,钨的碳化物以 WC_{1-x} 、 $W_6C_{2.54}$ 、 CW_3 为主. 由于试样加入钼、钨等大量合金元素,这些合金元素熔入奥氏体,使 C 曲线右移,降低临界冷却速度,以至于铸态下存在大量马氏体^[4].

经过 1 050 ℃ 淬火热处理后,大量奥氏体转化为马氏体,但还是存在残余奥氏体,试样的组织

为马氏体、碳化物和少量残余奥氏体组成,铬和钨的碳化物存在形式并无变化。

2.2 钨对高铬铸铁性能的影响

2.2.1 钨对铸态高铬铸铁硬度、冲击韧度的影响

表 4 是试样在铸态下的洛氏硬度、冲击韧度,可以看出,铸态下钨的加入,硬度有所提高,但幅度不大,试样 1、2 的硬度均比试样 0 的高,钨既能与碳形成碳化物,又能熔入基体,所以钨能同时提高基体和碳化物的显微硬度,整体上表现为宏观硬度升高,但是随着钨含量的提高,试样中碳化物的数量增多,对基体的割裂作用变大^[1]。所以试样 2 的冲击韧度相对试样 1 较低。

表 4 铸态下试样的洛氏硬度、冲击韧度

Tab. 4 Hardness(HRC)、impact toughness of the as-cast samples

试样号	0	1	2
硬度(HRC)	55.33	59.13	58.26
冲击韧度/(J·cm ⁻²)	9.56	11.67	10.08

2.2.2 钨对热处理态高铬铸铁硬度、冲击韧度的影响

图 4(a)中曲线是试样 1 050 ℃ 淬火后经不同温度回火的硬度曲线,小于 450 ℃ 回火时,随着钨含量的增大,试样的硬度逐渐提高。这仍然是由于钨的加入既提高了基体的硬度,又使碳化物的硬度升高。随着回火温度的升高,合金元素从基体中析出,一方面形成大量颗粒状碳化物,如图 5 所示,同时提高了基体的 Ms 线,使残余奥氏体转化为马氏体,故各试样的硬度均升高。到 550 ℃ 时,马氏体开始分解,各试样硬度开始下降,试样 0 和试样 2 下降较多,试样 1 降的较少,试样 0 下降较多是因为相对其它 3 个试样,试样 0 中没有加钨,合金元素最少,马氏体的回火稳定性较差,而试样 2 降的多是由于钨含量较高,马氏体分解时钨等合金元素形成碳化物,从基体带走的碳比试样 1 多,

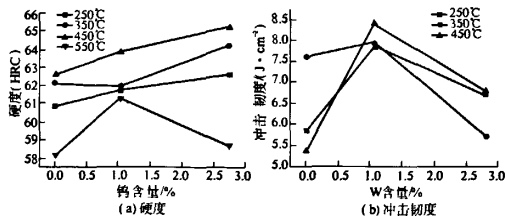


图 4 在 1 050 ℃ 淬火不同回火温度下各试样性能

Fig. 4 Property of samples at different tempering temperature destabilized at 1 050 ℃

虽然形成大量碳化物,但是基体中碳量较低,从而宏观硬度下降。基体中熔入大量过饱和的钨,增加了碳扩散的困难度,延缓了马氏体的分解,使试样硬度下降较少,增加了试样的回火稳定性。图 4 (b)是试样在 1 050 ℃ 淬火不同回火温度下试样的冲击韧度曲线,在同一回火温度下,随着钨含量的增加,冲击韧度先升高后降低,这仍然是由于大量碳化物对基体的割裂作用造成的。

2.2.3 钨对高铬铸铁耐磨性的影响

图 6 是不同状态下磨损失重与钨含量的关系,铸态下磨损失重以试样 2 为最小,试样 1 次之,由于钨能与碳形成碳化物,提高碳化物的硬度,同时熔入基体显著提高基体的硬度^[5],所以加入钨元素能显著提高试样的耐磨性。在 1 050 ℃ 淬火 250 ℃、350 ℃ 回火时,试样 1 比试样 2 的磨损失重小,这主要是在 1 050 ℃ 淬火时,试样 2 相对试样 1 的钨元素较多,在脱稳处理时延缓了碳化物的析出,使试样 2 基体中仍然固溶了相对较多的合金元素,从而使奥氏体转化成马氏体的量减少,残余奥氏体相对较多,而在 1 050 ℃ 淬火 450 ℃ 回火时试样 2 又比试样 1 的失重小,这是由于 450 ℃ 回火时,试样 2 大量合金元素从基体中以碳化物形式析出,残余奥氏体转化为马氏体较多,从而减少了残余奥氏体量。

3 结论

(1) 钨在高铬铸铁中既形成碳化物,又熔入基体,且在碳化物和基体中基本上平均分布,钨的碳化物以 WC_{1-x} 、 $W_6C_{2.34}$ 、 CW_3 为主,铬的碳化物类型以 M_7C_3 、 $M_{23}C_6$ 为主。

(2) 铸态下,组织为马氏体 + 奥氏体 + 碳化物,随着钨含量的升高,高铬铸铁硬度略有提高,硬度在 55 ~ 59 HRC 之间;钨熔入基体,提高了高铬铸铁的冲击韧度,但是当钨含量达到 3% 时,冲击韧度下降,冲击韧度在 9 ~ 12 J/cm² 之间;加入钨能显著提高耐磨性,含 3% 钨的高铬铸铁的耐磨性较好。

(3) 1 050 ℃ 淬火 250 ℃ 回火后,组织为马氏体 + 碳化物 + 少量残余奥氏体。含钨 1% 的高铬铸铁的硬度为 60 ~ 61 HRC,冲击韧度为 8 ~ 9 J/cm²。含钨质量分数达 3% 时,硬度达 62 HRC;随着含钨量的增加,冲击韧度先升高,当钨含量达到 3% 时,冲击韧度下降至 5 ~ 7 J/cm²。含钨 1% 的高铬铸铁的耐磨性较好。

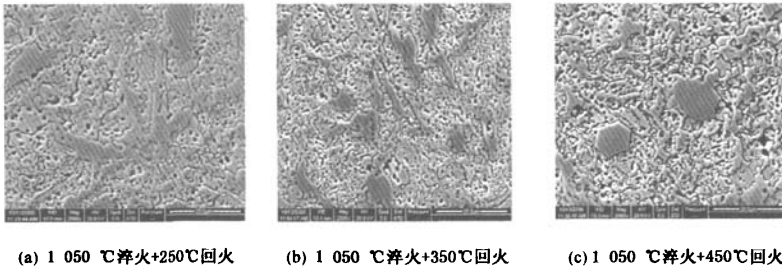


图5 试样1在1050℃淬火不同回火温度下的组织

Fig.5 Microstructure of sample 1 at different tempering temperature destablized at 1 050 °C

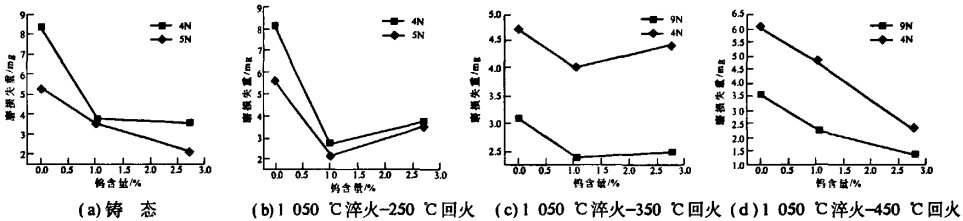


图6 不同状态下磨损失重与钨含量的关系

Fig.6 W content - weight loss relation graph in the different conditions

参考文献:

- [1] 郝石坚. 高铬耐磨铸铁[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1993: 65 - 68.
- [2] LU Lm, HIROSHI S, ALEXANDER M. Microstructure and mechanical properties of Fe - Cr - C eutectic composites [J]. Material Science and Engineering A, 2003, 347, 214 - 222.
- [3] JACUINDE A B, RAINFORTH W M. The wear behaviour of high - chromium white cast irons as a function of silicon and Mischmetal content [J]. Wear, 2001, 250, 449 - 461.
- [4] 崔忠圻. 金属学与热处理[M]. 北京: 机械工业出版社, 2001: 251 - 252.

The Influence of Tungsten on Microstructure and Properties of Cr20 High Chromium Cast Iron

LIU Xiao - fang, ZHAO Jing - yu, SUN Yu - fu

(College of Materials Science and Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China)

Abstract: The influence of Tungsten on microstructure and properties of Cr20 high chromium cast iron was studied in this paper. The results indicate that the distribution of Tungsten is uniform in carbide and matrix. The carbide formation of Tungsten contains $WC_{1-1.5}$, $W_6C_{2.34}$ and CW_3 . The as - cast microstructure consists of martensite, austenite and carbide. Hardness and Impact toughness of the sample containing 1% W are 56 ~ 59HRC and 10 ~ 12 J/cm², respectively. The wear resistant is 2 times as good as that of the sample with no Tungsten addition. When Tungsten content reaches 3%, the impact toughness decreases obviously, but its wear resistant is 2.3 times as good as that of the sample with no Tungsten addition. For the sample containing 1% W, hardness and impact toughness reach 60 ~ 61 HRC and 8 ~ 9 J/cm² respectively and the microstructure consists of martensite, carbide and small quantity residual austenite, under the condition of quenching at 1 050 °C and tempering at 250°C. The wear resistance is 3.00 times as good as that of the sample with no Tungsten addition.

Key words: tungsten; Cr20 high Chromium cast iron; microstructure; property