

Cr25Mo2W3耐磨铸铁硬度和抗冲刷腐蚀性能

李 卫^{1,2}

(1. 暨南大学材料科学与工程系, 广东广州 510632; 2. 广州有色金属研究院, 广东广州 510651)

摘要: 高铬钼钨耐磨铸铁以高硬度著称。通过金相组织观察、X射线衍射相结构分析、图像分析仪定量金相测试、电子探针微区成分分析、力学性能检测和盐水砂浆中的低角度冲刷腐蚀试验, 研究了含碳量和含钼量对高铬钼钨耐磨铸铁组织、结构、硬度、冲击韧性和抗冲刷腐蚀性能的影响规律。结果表明, 淬回火的280Cr25Mo2W3铸铁是以马氏体和残余奥氏体为基体, 以 $(Cr, Fe, W, Mo)_7C_3$ 和 $(Fe, Cr, W, Mo)_{23}C_6$ 为增强相的复合材料。在含碳量2.03%~2.79%的范围内, 随着含碳量的增加, 淬回火的Cr25Mo2W3耐磨铸铁的硬度逐渐提高, 冲击初度先升后降。随着含钼量的增加, 280Cr25W3铸铁硬度提高, 冲击初度下降。 M_7C_3 和 $M_{23}C_6$ 数量的增加以及 M_7C_3 显微硬度的提高, 是提高铸铁硬度和降低韧性的主要原因。高硬度280Cr25Mo2W3耐磨铸铁的 M_7C_3 横剖面(择优生长方向的垂直面)硬度HV1645, 纵剖面硬度HV1383, 经淬回火热处理该铸铁的硬度达HRC65, 具有优异的抗低角度冲刷腐蚀性能。

关键词: 高铬钼钨铸铁; 耐磨铸铁; 钨; 硬度; 冲刷腐蚀

中图分类号: TG143.7 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-4977 (2007) 05-0516-04

Erosion-Corrosion Resistance and Hardness of Wear Resistant Cast Iron Cr25Mo2W3

LI Wei^{1,2}

(1. Department of Materials Science and Engineering, Jinan University, Guangzhou 510632, Guangdong, China; 2. Guangzhou Research Institute of Non-ferrous Metals, Guangzhou 510651, Guangdong, China)

Abstract: High chromium molybdenum tungsten wear resistant cast irons are well known for its high hardness. The influences of tungsten and carbon content on microstructure, hardness, impact toughness and erosion-corrosion resistance of these cast irons were investigated by metallography, image analyzer, X-ray diffraction, electron probe analyzer, mechanical properties test and low angle erosion-corrosion test in salt water sand slurry in this paper. The results show that as-quenched-tempered cast iron 280Cr25Mo2W3 is composite material which is composed of martensite, remained austenite matrix and reinforced phase $(Cr, Fe, W, Mo)_7C_3$ and $(Fe, Cr, W, Mo)_{23}C_6$. With increasing C content within the range of 2.03wt%~2.79wt%, the hardness value of as-quenched-tempered cast iron Cr25Mo2W3 increases gradually, the impact toughness value first increases and then decreases. With increasing Mo content, the hardness value of cast iron 280Cr25W3 increases but the impact toughness value decreases. Increasing the amount of M_7C_3 and $M_{23}C_6$ carbides and enhancing the micro-hardness of M_7C_3 are major reason of increasing hardness and decreasing impact toughness of the cast iron. As-quenched-tempered cast iron 280Cr25Mo2W3 with high hardness of HRC65, in which M_7C_3 is anisotropic with the hardness of HV1645 in horizontal section (vertical plane of the prior growing direction) and HV1383 in vertical section, has better low angle erosion-corrosion resistance.

Key words: high chromium molybdenum tungsten cast iron; wear resistant cast iron; tungsten; hardness; erosion-corrosion

含Cr和Mo的高铬钼耐磨白口铸铁具有较高硬度, 已用于溜槽衬板, 反击式破碎机板锤和渣浆泵过流件等耐磨件。然而工业生产中磨损速度很高的金属矿用渣浆泵泵壳和叶轮过流件及立式破碎机导流板等易损件, 又要求更高的硬度以抵抗磨损, 追求耐磨铸铁的高硬度有

重要的工程应用价值。此外, 关于Cr和Mo合金化耐磨铸铁的研究和应用成果已较为丰富^[1-3], 但钨合金化的高铬钼钨耐磨铸铁的研究文献较少, 先前的研究工作中^[4], 作者分析了W对290Cr26MoW铸铁组织和硬度的影响, 而关于W和Mo联合合金化280Cr25Mo2W3耐磨铸铁的

基金项目: 广东省科技计划重点项目 (2004B10301001)。 **收稿日期:** 2007-01-04。

作者简介: 李卫 (1963-), 男, 吉林长春人, 教授, 博士, 主要从事耐磨、耐蚀、耐热材料和复合材料的研究开发与生产技术工作。

E-mail: Lwxasn@sohu.com

研究尚未见文献报道, 本文作者将在前述工作基础上研究含碳量和含钼量对高铬钼钨耐磨铸铁组织、结构、硬度和冲击韧度的影响, 探讨该铸铁在盐水砂浆中的低角度冲刷腐蚀性能, 为高硬度高铬钼钨耐磨铸铁的研发和应用提供理论依据和参考数据。

1 试验条件和方法

试验用高铬钼钨铸铁化学成分见表1, 铁液采用中频感应电炉熔炼, 砂型浇Y形试块。Y形试块经1050℃空淬和480℃回火后, 从中线切割取试验用试样。采用金相显微镜、X射线衍射仪和图像分析仪研究耐磨铸铁的组织, 用电子探针分析铸铁组织的合金成分, 用冲击试验机测材料的冲击韧度, 冲击试样10 mm×10 mm×55 mm无缺口, 用洛氏硬度计测定材料的洛氏硬度, 用显微硬度计测铸铁碳化物的显微硬度。

在自制的射流型冲刷腐蚀试验机^[4]上做高铬钼钨铸铁的盐水砂浆冲刷腐蚀试验, 冲刷腐蚀试验机见图1。盐水砂浆由200目石英砂、工业氯化钠盐和自来水配制, 砂质量浓度15%, 氯化钠质量浓度3%。砂浆温度25℃。冲刷速度19.8 m/s, 冲刷时间7 min50 s, 试样冲刷角度30°。试样尺寸20 mm×20 mm×8 mm。采用失重法测试试样的抗冲刷腐蚀性能。

表1 试验用高铬钼钨铸铁的化学成分

Table 1 Chemical composition of test high chromium

试样	molybdenum tungsten cast irons									w_B (%)
	C	Cr	Mo	W	Si	Mn	Ni	P	S	
1#	2.03	24.51	2.24	2.94	0.36	0.32	0.52	0.045	0.028	12.07
2#	2.20	24.53	2.28	2.98	0.39	0.34	0.45	0.043	0.041	11.15
3#	2.41	24.80	2.28	2.91	0.33	0.36	0.44	0.039	0.048	10.29
4#	2.79	24.61	2.25	2.94	0.30	0.29	0.46	0.043	0.060	8.82
5#	2.85	25.12	0.80	2.89	0.61	0.52	0.51	0.039	0.048	8.81

注: 1# (200Cr25Mo2W3), 2# (220Cr25Mo2W3), 3# (240Cr25Mo2

W3), 4# (280Cr25Mo2W3), 5# (280Cr25MoW3)

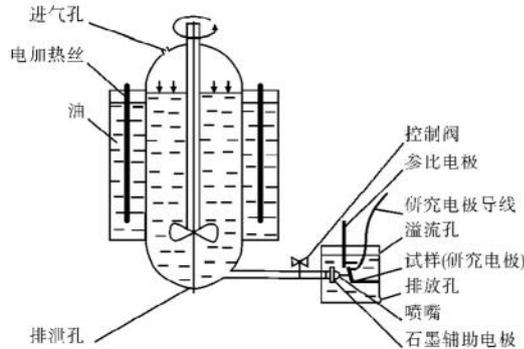


图1 冲刷腐蚀试验机示意图

Fig. 1 Schematic of erosion-corrosion tester

2 试验结果与分析

2.1 含碳量和Mo量对高铬钼钨铸铁组织、硬度和冲击韧度的影响

不同含碳量的高铬钼钨铸铁的X射线衍射相结构分析和金相观察表明, 本研究中五种铸铁的基体显微组织为马氏体+残余奥氏体, 铸铁显微组织还包括 M_7C_3 型碳化物和 $M_{23}C_6$ 型碳化物。图2和图3为W、Mo联合合金化的4#试样280Cr25Mo2W3铸铁的金相组织照片, 图4为该铸铁的X射线衍射图, 通过铸态组织衍射并根据作者前期研究结果^[4], 可以证实该铸铁的 M_7C_3 为共晶碳化物, $M_{23}C_6$ 为淬火热处理过程中析出的二次碳化物。金相观察可以看出该铸铁近共晶成分, 共晶碳化物团呈菊花团状, 金相剖面上 M_7C_3 共晶碳化物多为团块状, 部分为条块状, 这是立体共晶碳化物团被剖切后呈现的剖面效果。二次碳化物 $M_{23}C_6$ 以更细小的颗粒状弥散分布于基体之上。

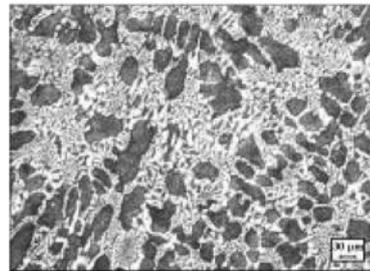


图2 淬回火280Cr25Mo2W3铸铁金相组织 (1)

Fig. 2 Microstructure of as-quenched-tempered cast iron 280Cr25Mo2W3

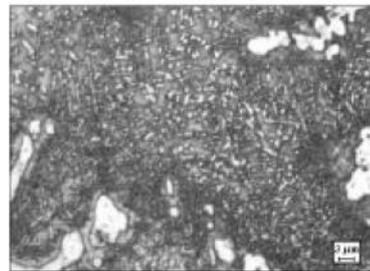


图3 淬回火280Cr25Mo2W3铸铁金相组织 (2)

Fig. 3 Microstructure of as-quenched-tempered cast iron 280Cr25Mo2W3

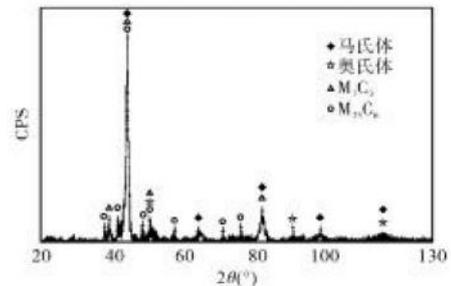


图4 淬回火280Cr25Mo2W3铸铁X射线衍射图

Fig. 4 Result of XRD of as-quenched-tempered cast iron 280Cr25Mo2W3

表2为不同含碳量和不同钼量对高铬钼钨铸铁硬度和冲击韧度的影响, 首先可以看出5种高铬钼钨铸铁的硬度均较高, 即便200Cr25Mo2W3铸铁的含碳量低至只有2.03%, 其宏观硬度也高于HRC62, 显然较高含量的强碳化物形成元素W、Mo、Cr以及高的Cr/C提高了碳化物的硬度并强化了基体; 其次可以看到随着含碳

量的增加, Cr25Mo2W3耐磨铸铁的硬度逐渐提高, 在含碳量由2.03%提高到2.79%时, 铸铁的洛氏硬度提高了近HRC3, 280Cr25Mo2W3铸铁的硬度高达HRC65, 表现出明显的合金硬化效果。硬度递增的这一趋势是在含Cr量基本不变, Cr/C逐渐降低 (Cr/C由12.07降至8.82) 的情况下发生的, 由于铸铁中的C、Cr和Cr/C均增加共晶碳化物的数量, Cr/C又与M₇C₃的硬度成正比, 显然这里含碳量是影响铸铁硬度的主要因素, 增加含碳量提高了铸铁碳化物体积分数, 进而提高了铸铁的硬度。280Cr25Mo2W3铸铁的碳化物体积分数已达41.63% (见表3), 其中M₇C₃共晶碳化物体积分数35.46%, 均为提高铸铁硬度作出了重要贡献。

表2 含碳量和钼量对高铬钼钨耐磨铸铁力学性能的影响

Table 2 Effect of C and Mo content on mechanical properties of high chromium molybdenum tungsten cast irons

试样编号	1#	2#	3#	4#	5#
HRC	62.2	62.9	63.5	65	63
$\alpha_{10}(J \cdot cm^{-2})$	2.8	3.0	3.1	2.6	3.1

表3 高铬钼钨耐磨铸铁的碳化物体积分数

Table 3 Volume fraction of carbide of high chromium molybdenum tungsten cast irons (%)

试样编号	M ₇ C ₃ 共晶碳化物	M ₂₃ C ₆ 二次碳化物	M ₇ C ₃ +M ₂₃ C ₆
4# (280Cr25Mo2W3)	35.46	6.17	41.63
5# (280Cr25MoW3)	34.12	5.23	39.35

但是, 由表2还可以看出含碳量对高铬钼钨耐磨铸铁冲击韧度的影响与众不同。随着含碳量的增加, 铸铁的冲击韧度不是持续下降, 而是先升后降即含C量为2.03%时Cr25Mo2W3铸铁不仅是硬度较低, 冲击韧度亦不高, 这将影响其在冲击载荷高应力磨料磨损工况的应用。铸铁冲击韧度的这一情况, 可能是含碳量较低的白口铸铁亚共晶较为明显, 共晶碳化物将析出于枝晶的晶界, 共晶碳化物易被“挤压”成条网状, 为裂纹扩展提供了简易通道, 而对抗冲击不利。

含钼量对高铬钼钨铸铁硬度和冲击韧度亦有明显的影响。与5#试样280Cr25MoW3相比, 4#试样280Cr25Mo2W3铸铁的硬度更高, 而冲击韧度低一些 (见表2), 此两种铸铁Cr/C和C、Cr、W含量相似, 只是含Mo量有明显差别, 这说明增加含Mo量致使C、Cr、Mo和W的多元合金联合硬化效果增强。Mo和W均为强的碳化物形成元素, Mo、W与C的结合力均强于Cr, 在Cr/C和C、W一样的铸铁中增加Mo量则增加了铸铁碳化物、特别是共晶碳化物的数量 (见表3), 同时也提高了M₇C₃共晶碳化物的显微硬度 (见表4), 此为铸铁硬度提高并冲击韧度降低的主要原因。

2.2 280Cr25Mo2W3耐磨铸铁碳化物和抗冲刷腐蚀性能

X射线衍射相结构分析和金相观察已经表明, 淬回火Cr25Mo2W3铸铁含有M₇C₃型共晶碳化物和M₂₃C₆型

表4 高铬钼钨耐磨铸铁M₇C₃共晶碳化物的显微硬度 (HV50)

Table 4 Micro-hardness (HV50) of M₇C₃ of high chromium molybdenum tungsten cast irons

试样编号	M ₇ C ₃ 横剖面	M ₇ C ₃ 纵剖面
4# (280Cr25Mo2W3)	1 645	1 383
5# (280Cr25MoW3)	1 590	1 315

二次碳化物。表5是280Cr25Mo2W3铸铁碳化物的主要化学成分。研究结果表明, M₇C₃和M₂₃C₆中含有Cr、W、Mo、Mn等合金元素, 由于该铸铁含Mn量很低, 在不考虑Mn的情况下, 依各元素成分高低可以认为该铸铁的M₇C₃为 (Cr、Fe、W、Mo)₇C₃, M₂₃C₆为 (Fe、Cr、W、Mo)₂₃C₆, W和Mo原子发挥了与C结合力强的优势, 置换了部分Cr和Fe原子, 形成了多元合金型的M₇C₃和M₂₃C₆。在多个视场对不同形态的M₇C₃测定显微硬度, 发现颗粒团块状M₇C₃的平均硬度为HV₅₀1645, 条块状M₇C₃的平均硬度HV₅₀1383, 表明Cr、Fe、W、Mo多元合金型的M₇C₃有着较高的显微硬度。至于形态影响M₇C₃的显微硬度, 这是与M₇C₃晶面有关, M₇C₃结晶时形成立体似菊花团形状, 每一枝M₇C₃有择优生长方向, 结果菊花团状M₇C₃的每一枝似一棒状, 将金相观察面剖到与择优生长方向垂直的面即M₇C₃横剖面, 则金相观察此M₇C₃为颗粒团块状, 随机剖到与择优生长方向平行的面即M₇C₃纵剖面, 则金相观察此M₇C₃为条块状。由于M₇C₃取向和晶面不同, 则不同形态M₇C₃的显微硬度各异, 但团块状M₇C₃的平均显微硬度较高是不争的事实。

表5 280Cr25Mo2W3耐磨铸铁M₇C₃和M₂₃C₆的主要化学成分

Table 5 Chemical composition of M₇C₃ and M₂₃C₆ of cast iron

碳化物类型	280Cr25Mo2W3			w_B (%)
	Cr	Mo	W	Mn
M ₇ C ₃ 共晶碳化物	44.21	3.21	4.59	0.30
初生枝晶基体中M ₂₃ C ₆	29.16	3.38	6.23	0.30

表6是3种高铬钼钨耐磨铸铁在盐水砂浆中的低角度冲刷腐蚀试验结果, 从中可见, 增加含碳量大幅度提高了高铬钼钨耐磨铸铁的抗冲刷腐蚀性能; 在含碳量相当情况下, 增加含钼量也提高高铬钼钨耐磨铸铁的抗冲刷腐蚀性能。说明高铬钼钨耐磨铸铁的抗冲刷腐蚀性能与铸铁的硬度成正比, 提高硬度则提高了耐磨性。但由抗冲刷腐蚀性能提高程度来分析, 高铬钼钨耐磨铸铁的抗冲刷腐蚀性能与硬度并非线性正比关

表6 高铬钼钨耐磨铸铁的抗冲刷腐蚀性能

Table 6 Erosion-corrosion resistance of high chromium molybdenum tungsten cast irons

试样编号	冲刷腐蚀前试样重量/g	冲刷腐蚀后试样重量/g	失重量/g
1#	24.388 5	24.382 9	0.005 6
4#	24.469 2	24.465 6	0.003 6
5#	24.422 9	24.418 8	0.004 1

注: 1# (200Cr25Mo2W3), 4# (280Cr25Mo2W3), 5# (280Cr25MoW3)

系,在本试验研究中,提高含碳量引起 M_7C_3 共晶碳化物数量增加,从而提高铸铁抗冲刷腐蚀性能的作用更显著。高碳量的280Cr25Mo2W3耐磨铸铁 M_7C_3 共晶碳化物数量多,显微硬度较高,表现出高的硬度和优异的抗冲刷腐蚀性能。

综上所述,经淬回火热处理的280Cr25Mo2W3耐磨铸铁是以马氏体和残余奥氏体为基体,以 M_7C_3 和 $M_{23}C_6$ 碳化物为增强相的复合材料。280Cr25Mo2W3耐磨铸铁硬度达到HRC65,具有优异的抗冲刷腐蚀性能,在低角度强冲刷和磨蚀领域有着较好的应用前景。

3 结论

(1) 淬回火热处理的280Cr25Mo2W3铸铁是以马氏体和残余奥氏体为基体,以 M_7C_3 (Cr、Fe、W、Mo) $_7C_3$ 和 $(Fe、Cr、W、Mo)_{23}C_6$ 为增强相的复合材料。

(2) 在含碳量2.03%~2.79%的范围内,随着含碳量的增加,淬回火的Cr25Mo2W3耐磨铸铁的硬度逐渐提高,冲击韧度先升后降。

(3) 随着含钨量的增加,280Cr25W3铸铁硬度提高,冲击韧度下降。 M_7C_3 和 $M_{23}C_6$ 数量的增加以及 M_7C_3 显微硬度的提高,是提高铸铁硬度和降低韧性的主要原因。

(4) 高硬度280Cr25Mo2W3耐磨铸铁的 M_7C_3 横剖面(择优生长方向的垂直面)硬度HV1645,纵剖面硬度HV1383,经淬回火热处理,该铸铁的硬度达HRC65,具有优异的抗低角度冲刷腐蚀性能。

参考文献:

- [1] 周庆德,饶启昌,苏俊义. 铬系抗磨铸铁 [M]. 西安: 西安交通大学出版社, 1986.
- [2] 郝石坚. 高铬耐磨铸铁 [M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1993.
- [3] 李卫, 曾绍连. 含钨量对铸态290Cr26MoW耐磨铸铁组织和硬度的影响 [M]. 铸造. 2007, 56 (4): 405-408.
- [4] TU X H, LIU J Q, LI W, et al. Erosion-Corrosion Investigation of High Chromium Cast Irons Using Newly Designed Jet Type Tester [J]. Transactions of Nonferrous Metals Society of China. 2004, 14 (S.2): 405-412.

(编辑: 田世江, tsj@foundryworld.com)

(选自《铸造》2007年第5期)