

回火温度对 Cr23 高铬铸铁组织性能的影响

李 毅^{1, 3}, 朱鹏霄^{2, 3}

(1. 中国矿业大学机电工程学院, 江苏徐州 221116; 2. 中国矿业大学化工学院, 江苏徐州 221116;
3. 徐工集团江苏徐州工程机械研究院, 江苏徐州 221004)

摘要: 通过光学显微镜, 显微硬度、洛氏硬度、冲击及磨损试验, 研究了不同回火温度对 Cr23 高铬铸铁组织和性能的影响。结果表明: 随着回火温度的升高, Cr23 高铬铸铁的硬度、冲击韧性和耐磨性均先升后降。经过 950 °C 淬火+500 °C 回火处理的 Cr23 高铬铸铁, 其磨损性能较 950 °C 淬火+450 °C 回火处理的试样提高了 39.9%。经过 950 °C 淬火处理+450~550 °C 回火处理后, Cr23 高铬铸铁冲击断裂均为脆性断裂, 解理断口; 经过 950 °C 淬火+500 °C 回火处理的 Cr23 高铬铸铁具有最优的性能。

关键词: Cr23 高铬铸铁; 显微硬度; 抗磨性; 磨损形貌

沥青混合料摊铺机是铺筑沥青路面的专用施工机械, 作用是将拌制好的沥青混合料均匀地摊铺在路面底层上, 主要包含行走系统、液压系统、螺旋分料系统等。螺旋分料系统在工作时, 叶片旋转推动混合料作翻滚运动, 随着挤压力不断增加, 混合料从分料器中被挤出, 达到分料的目的。在此过程中, 2/3 螺旋叶片始终深埋在混合料内。混合料中的砂、石等硬度较高的物质在滚动状态下与螺旋叶片面发生挤压和摩擦, 产生磨损, 使用过程中叶片从外边缘逐渐向内部磨损, 导致叶片尺寸逐步减小, 最终无法正常使用。

摊铺机螺旋叶片一般采用高铬铸铁作为原材料, 有关研究表明, 在众多的磨损材料中, 高铬铸铁的抗磨料磨损的能力最为优异^[1-2]。影响高铬铸铁性能的主要因素包括: 基体组织和碳化物, 同时研究指出^[3-4], 碳化物的取向对耐磨性有很大的影响作用。平兆福^[5]研究了定向凝固技术在高铬铸铁中的应用, 指出定向凝固技术可实现碳化物的定向排列, 具有特定碳化物取向的高铬铸铁的硬度、耐磨性有别于普通高铬铸铁。黄鹏^[6]研究了冷却速度对高铬铸铁的组织性能及耐磨性的影响, 研究表明, 快速冷却使碳化物硬质相的硬度降低, 韧性提高, 抗冲蚀磨损的能力提高。金大明^[7]研究指出高碳高铬耐热铸铁硬度高, 冲击韧性小, 耐热性好, 随着铬含量的增加, 其硬度和冲击韧性均提高。本试验采用不同的回火热处理工艺, 研究回火温度对 Cr23 高铬铸铁组织和性能的影响。

1 试样制备与方法

本次试验的高铬铸铁成分如表 1 所示。经浇注成形后进行热处理, 其工艺如表 2 所示。利用线切割取金相试样, 研磨抛光后用 4% 硝酸酒精溶液侵蚀, 在莱卡 DMI5000M 型金相显微镜观察其显微组织; 根据 GB/T230.1—2018, 采用 THRP-150D 型数显洛氏硬度计进行硬度测试, 标尺为 HRC, 最终的硬度为 6 个点的平均值; 根

表 1 Cr23 高铬铸铁成分结果
Table 1 Composition results of Cr23 high chromium cast iron $w_B/\%$

C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni	Mo	Cu	V	Co
2.534	0.472	0.650	0.018	0.022	24.283	0.504	0.318	0.067	0.080	0.026

作者简介:

李毅 (1980-), 男, 博士研究生, 主要研究方向为金属材料性能提升与分析。
E-mail: liyi3@xcmg.com

中图分类号: TG257

文献标识码: A

文章编号: 1001-4977 (2022)

09-1116-04

收稿日期:

2022-04-10 收到初稿,

2022-05-18 收到修订稿。

表2 Cr23高铬铸铁热处理工艺
Table 2 Heat treatment process of Cr23 high chromium cast iron

试样编号	淬火温度/℃	保温时间/h	回火温度/℃	保温时间/h
1 [#]	950	2	450	3
2 [#]	950	2	500	3
3 [#]	950	2	550	3

据GB/T4340.1—2009, 利用KB-30S型显微维氏硬度试验机在金相试样上测试不同组织的显微硬度, 取3个点的硬度平均值为结果; 根据GB/T229—2020, 在PTM2200型低温摆锤冲击试验机测试冲击功, 试样采用无缺口试样, 尺寸为(55×10×10)mm; 利用MMW-1微机控制万能摩擦磨损试验机进行磨损试验, 试样尺寸为(9.8×9.8×20)mm的长方体试样, 试样经线切割后用1 200[#]SiC砂纸进行抛光, 如图1所示, 采用上销下盘式的磨损形式。磨损试验结束后用酒精溶液在超声清洗仪中清洗干净再吹干, 然后用万分之一的分析天平称量其质量, 测算试验前后的磨损量, 最后利用

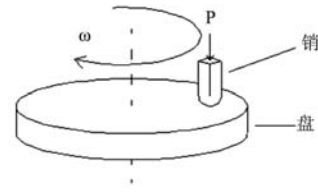


图1 磨损试验示意图

Fig. 1 Schematic diagram of wear test

INSPECT S50型扫描电子显微镜观察冲击和磨损形貌。

2 试验结果与讨论

2.1 显微组织及显微硬度分析

图2是三种试样的显微组织。从图2可以看出, 三种试样的组织中均未见明显的铸造缺陷, 其组织均为白色的碳化物、灰黑色的马氏体和残余奥氏体^[8]。对三种试样的白色和灰黑色组织进行显微维氏硬度测试, 结果如表3所示, 可见随着回火温度的升高, 白色碳化物和基体的硬度先升后降。

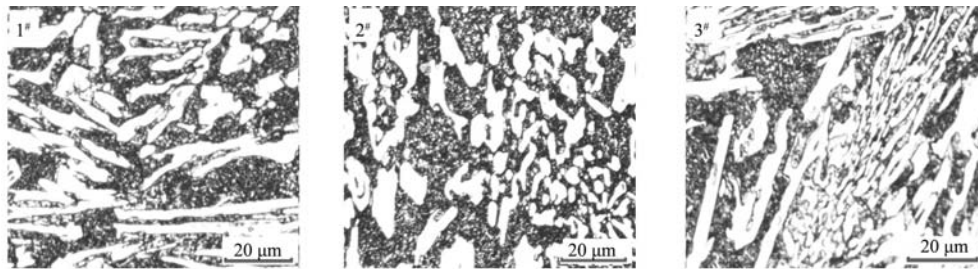
(a) 1[#](b) 2[#](c) 3[#]

图2 Cr23高铬铸铁不同回火温度后的显微组织

Fig. 2 Microstructure of Cr23 high chromium cast iron at different tempering temperatures

表3 Cr23高铬铸铁不同回火温度的显微硬度
Table 3 Microhardness of Cr23 high chromium cast iron at different tempering temperatures

试样编号	维氏硬度HV1			平均值HV1	备注
1 [#]	740	736	728	735	白色区域
	622	635	629	629	灰黑色区域
2 [#]	738	741	749	743	白色区域
	641	639	633	638	灰黑色区域
3 [#]	716	727	722	722	白色区域
	612	609	615	612	灰黑色区域

在淬火高温下, C、Cr等元素的扩散驱动力增加, 受到的位错阻力减小, C、Cr等元素通过扩散在奥氏体中聚集产生碳化物, 当冷却至室温时, 初生奥氏体转变成马氏体, 属于高碳富铬奥氏体通过切变机制形成的过饱和间隙固溶体。在随后的回火过程中, Cr23高铬铸铁中的马氏体开始分解, 同时碳化物逐渐析出长大, 碳化物的析出导致马氏体中的碳含量下降, 其基

体显微硬度也会随之下降。当在450℃回火时, 马氏体中的碳脱溶, 碳化物开始球化, 同时Cr原子向碳化物聚集, 导致硬度相比淬火状态显著降低。当在500℃回火时, 高铬铸铁中碳化物析出量增多, 并弥散分布在基体中, 具有较强的钉扎作用。而在550℃回火时, 高铬铸铁中的碳化物开始粗化长大, 位错运动受到的阻力减小, 强化作用下降。

2.2 洛氏硬度及冲击韧性试验结果分析

表4和表5是Cr23高铬铸铁经过不同回火温度处理后的洛氏硬度和冲击韧性试验结果。从表4和表5中可以看出, 随着回火温度的上升, 三种试样的硬度和冲击韧性均是先升后降。当回火温度在450℃时, 1[#]试样中的碳化物析出, 但其数量较少; 随着回火温度升高, 碳和合金元素扩散能力增强, 2[#]试样中析出更多的弥散分布在基体上的碳化物, 使位错的运动受阻, 从而使2[#]试样的硬度和冲击韧性升高^[9]; 但当温度继续升

表4 Cr23高铬铸铁不同回火温度的洛氏硬度
Table 4 Rockwell hardness of Cr23 high chromium cast iron at different tempering temperatures

试样编号	硬度值HRC						平均值HRC
1 [#]	52.5	53.8	53.8	53.6	54.1	53.6	53.6
2 [#]	53.2	53.9	54.2	54.9	54.4	55.4	54.3
3 [#]	50.5	50.2	50.4	51.3	52.4	51.1	51.0

表5 Cr23高铬铸铁不同回火温度的冲击韧性
Table 5 Impact toughness of Cr23 high chromium cast iron at different tempering temperatures

试样编号	冲击功(无缺口)/J				平均值/J
1 [#]	6.27	5.98	6.02	6.09	6.09
2 [#]	6.76	6.32	6.21	6.43	6.43
3 [#]	5.48	5.57	5.91	5.65	5.65

高时, 3[#]试样析出的碳化物开始粗化长大, 导致3[#]试样的硬度和冲击韧性下降。

随着回火温度提高, 三种试样的冲击韧性先升高后降低。图3为冲击断口形貌图, 三种试样的冲击断口为典型的脆性断口, 断裂面上存在大量的解理平面, 而解理断裂是在正应力作用下产生的一种穿晶断裂, 表明高铬铸铁的韧性较差。这是由于高铬铸铁组织中回火马氏体和碳化物均为脆硬相, 在冲击过程中裂纹容易在脆性相中产生和扩展, 从而形成解理平面。

2.3 磨损试验结果分析

三种试样的磨损试验结果如表6所示。从表6可以看出, 随着回火温度的升高, 三种试样的磨损量先降后升。2[#]试样的抗磨性较1[#]试样提高了39.9%。三种试

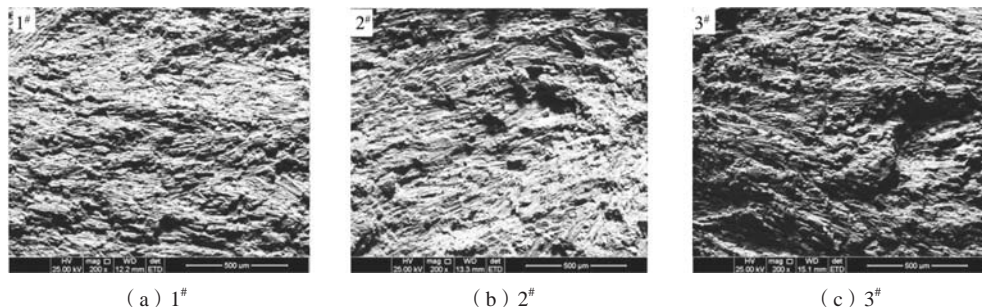


图3 Cr23高铬铸铁不同回火温度的冲击断口形貌

Fig. 3 Impact fracture morphology of Cr23 high chromium cast iron at different tempering temperatures

样的磨损形貌如图4所示。从图4可以看出, 三种试样磨损形貌都出现了犁沟现象, 其中1[#]试样划痕较细, 出现少许碳化物剥落; 2[#]试样划痕最细, 且没有碳化物剥落, 3[#]试样的犁沟较深, 两侧有脊隆^[10], 并且剥落较严重。

一般而言, 高铬铸铁中碳化物含量越高, 硬度就会越高, 而高硬材料可有效提高材料的抗磨损能力^[11]。在磨损试验中, 高铬铸铁中的基体硬度相对比较低, 主要起到对碳化物的保护作用, 防止其剥落, 而弥散分布的碳化物起到抵抗磨损的作用。随着回火温度的

表6 Cr23高铬铸铁不同回火温度的磨损量
Table 6 Wear amount of Cr23 high chromium cast iron at different tempering temperatures

试样编号	磨损量/g			平均值/g
1 [#]	0.712 2	0.685 3	0.692 2	0.696 6
2 [#]	0.437 6	0.408 6	0.410 5	0.418 9
3 [#]	0.863 2	0.783 7	0.788 1	0.811 7

升高, 高铬铸铁中弥散析出的二次碳化物越来越多且细小, 使得在磨损过程中碳化物不能轻易脱落, 延长了耐磨时间^[12]。此外, 由于碳化物之间的距离变小,

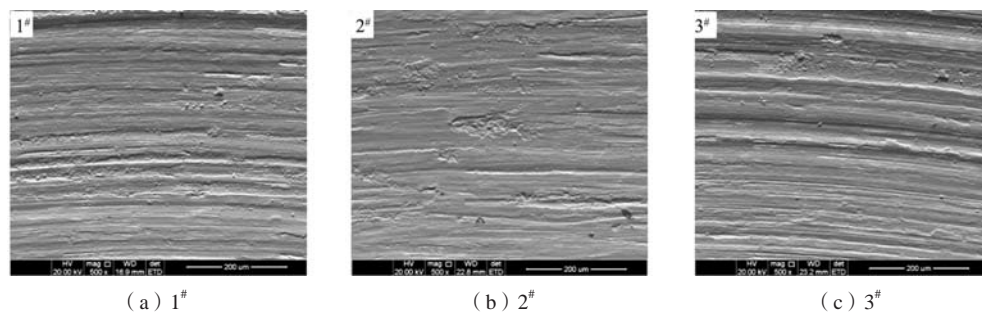


图4 Cr23高铬铸铁不同回火温度的磨损形貌

Fig. 4 Wear morphology of Cr23 high chromium cast iron at different tempering temperatures

使磨粒接触基体的机会减少了,从而刺入基体的深度也减少,降低了基体的磨损量,因而其整体抗磨性增大^[13]。当回火温度继续升高时,高铬铸铁中的二次碳化物会粗化长大,降低其硬度,导致试样表面磨损严重,“犁沟”深且多,耐磨性较差。

3 结论

(1) 随着回火温度的升高, Cr23高铬铸铁的硬

度、冲击韧性和抗磨性均先升后降。

(2) 经过950 °C淬火+500 °C回火处理的Cr23高铬铸铁,其磨损性能较950 °C淬火+450 °C回火处理的试样提高了39.9%。

(3) 经过950 °C淬火处理+450~550 °C回火处理后, Cr23高铬铸铁冲击断裂均为脆性断裂,解理断口;经过950 °C淬火+500 °C回火处理的Cr23高铬铸铁具有最优的性能。

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.
- [2] 邵荷生, 张清. 金属的磨料磨损与耐磨材料 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1988.
- [3] JUNYI S, YUDING J. The effect of orientation and thickness of carbides on abrasive wear resistance of high chromium iron [J]. *Wear of Materials*, 1987, 2: 661-71.
- [4] CORONADO J. Effect of (Fe, Cr)₇C₃ carbide orientation on abrasion wear resistance and fracture toughness [J]. *Wear*, 2011, 270 (3-4): 287-293.
- [5] 平兆福, 郑宝超, 涂小慧, 等. 定向凝固技术在高铬铸铁中的应用 [J]. *铸造*, 2021, 70 (8): 899-905.
- [6] 黄鹏, 纪秀林, 吴怀超, 等. 冷却速度对高铬铸铁凝固组织及耐磨性的影响 [J]. *铸造*, 2019, 68 (8): 854-859.
- [7] 金大明. 铬含量对高铬铸铁力学性能的影响研究 [J]. *佳木斯大学学报 (自然科学版)*, 2018, 36 (2): 255-257.
- [8] 龚正春, 刘产军. 热处理对高铬铸铁磨损特性的影响 [J]. *哈尔滨理工大学学报*, 2001, 6 (6): 58-52.
- [9] 史磊, 张凤营. 热处理工艺对Cr26型高铬铸铁组织和性能的影响 [J]. *铸造*, 2017, 66 (4): 408-410+417.
- [10] 孙莹, 余庆波, 闵昊. T10钢深冷处理的组织和力学性能 [J]. *材料热处理学报*, 2014, 35 (11): 51-55.
- [11] 邓进俊, 邵红红, 彭玉婷, 等. 热处理对高铬铸铁组织与耐磨性的影响 [J]. *金属热处理*, 2013, 38 (3): 82-85.
- [12] ZOU Wen-qi, ZHANG Zhi-guo, YANG Hao, et al. Effect of vibration frequency on microstructure and performance of high chromium cast iron prepared by lost foam casting [J]. *China Foundry*, 2016, 13 (4): 248-255.
- [13] 张香平, 张懿, 罗育平, 等. 亚临界热处理对不同Cr/C高铬铸铁的组织与相变的影响 [J]. *热加工工艺*, 2011, 40 (18): 170-173.

Effect of Tempering Temperature on Microstructure and Properties of Cr23 High Chromium Cast Iron

LI Yi^{1,3}, ZHU Peng-xiao^{2,3}

(1. School of Mechatronic Engineering, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221116, Jiangsu, China; 2. School of Chemical Engineering & Technology, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221116, Jiangsu, China; 3. Jiangsu Xuzhou Construction Machinery Research Institute, Xuzhou Construction Machinery Group, Xuzhou 221116, Jiangsu, China)

Abstract:

The effects of different tempering temperatures on the microstructure and properties of Cr23 high chromium cast iron were studied by optical microscope, microhardness, Rockwell hardness, impact and wear tests. The results showed that the hardness, impact toughness and wear properties of Cr23 high chromium cast iron first increased and then decreased with the increase of tempering temperature. The wear property of Cr23 high chromium cast iron quenched at 950 °C and tempered at 500 °C was 39.9% higher than that quenched at 950 °C and tempered at 450 °C. After being quenched at 950 °C and tempered at 450-550 °C, the impact fracture of Cr23 high chromium cast iron was brittle fracture and cleavage fracture. The Cr23 high chromium cast iron quenched at 950 °C and tempered at 500 °C has the best properties.

Key words:

Cr23 high chromium cast iron; microhardness; wear resistance; wear morphology