

Study on the Properties of C and Mn Elements for BTW Medium Manganese Steel

Junxiang Wang, Xing Li, Yingzhe Ma

Tianjin Will Long Sci. and Tech Co., LTD, Tianjin
Email: 13512926736@163.com

Received: Sep. 14th, 2018; accepted: Oct. 8th, 2018; published: Oct. 15th, 2018

Abstract

The effect of C and Mn elements on properties of BTW steel was studied in this paper. Microstructures and mechanical properties of medium manganese steel were analyzed by means of metallographic microscope, tensile test, impact test, friction and wear test machines. Experimental results showed: in the experiment, the BTW steel was single austenite structure, in addition, the spotty carbonized precipitates were found in the crystalline grains and boundaries. Manganese made a more obvious effect on tensile strength, while the effect on hardness and wear properties was less. The change of carbon content had an obvious effect on strength, toughness, hardness and wear resistance. To obtain good comprehensive performance, the manganese content in actual production should not be less than 8 wt%. Carbon content should be controlled at around 0.9 wt%.

Keywords

C and Mn Elements, BTW Medium Manganese Steel, Mechanical Properties, Microstructure

C和Mn元素对BTW型中锰钢性能研究

王军祥, 李 星, 马英喆

天津威尔朗科技有限公司, 天津
Email: 13512926736@163.com

收稿日期: 2018年9月14日; 录用日期: 2018年10月8日; 发布日期: 2018年10月15日

摘 要

本文研究了C和Mn元素对BTW中锰钢性能的影响, 利用金相显微镜、拉伸试验机、冲击试验机、摩擦磨损试验机等分析了中锰钢组织结构、力学性能。实验结果表明: BTW中锰钢均为单一的奥氏体组织, 晶

内晶界均有点状碳化物分布。锰含量对抗拉强度的影响较为明显，对硬度及磨损性能的影响较小。碳元素的变化对强度、韧性、硬度和耐磨损性能均有较为明显的影响。为获得良好的综合性能，在实际生产中锰含量应不低于8 wt%，碳含量应控制在0.9 wt%左右。

关键词

C和Mn元素，BTW中锰钢，力学性能，显微组织

Copyright © 2018 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

刮板输送机作为矿山开采输送的关键装备，广泛应用于煤矿、金属矿山、化工、港口码头等装卸物料，也是煤矿中使用最广、磨损及耗能最严重的设备之一[1] [2] [3]。刮板输送机的可靠、稳定、高效运行直接影响着矿井的安全生产和经济效益，中部槽是刮板输送机的核心部件，在使用过程中承受剧烈的摩擦磨损和动载负荷，刮板输送机的失效，也多由中部槽的过度磨损或断裂引起[4] [5]。因此提高中部槽足够的强度、刚度和耐磨性，开发高强、高耐磨的中板材料，已成为煤炭工业开采装备急需解决的技术难题[6] [7]。

形变诱导硬化型中锰钢(记为 BTW)在中低冲击载荷下表层材料可从不稳定奥氏体向马氏体转变，通过优化材料成分中 C、Mn 元素，将 Ms 点上移至室温附近，当奥氏体吸收能量后常温下即可发生马氏体相变，提高材料的硬度和耐磨性，另有奥氏体晶体内有大量水韧时未及时析出的碳化物，也可大幅提高材料的耐磨性能[8] [9] [10] [11]。新型形变诱导硬化型中锰钢材料具有优异的力学性能和抗冲击磨损性能，有效解决在复杂工况下装备使用短寿命问题，对节能降耗、实现循环经济和可持续发展具有重要战略意义和社会效益。本文主要探讨 C、Mn 元素成分对比对新型中锰钢性能的影响。

2. 试验材料及方法

本本文采用消失模负压铸造工艺制备中锰钢[12]，依据中锰耐磨钢的成分范围、相图及元素的作用规律，针对 C、Mn 元素成分进行分组实验研究，其中 C 元素含量设计为 4 组，分别为 0.7~0.78、0.83~0.84、0.89~0.91 和 1.01~1.1 (wt%)，Mn 元素含量为 2 组，分别为 6.8~7.9、8.53~8.9 (wt%)。其他成分包括稀土含量控制在同一水平，误差在 3%以内，具体见表 1。从中选取 10 个样本，通过熔炼 - 成型 - 热处理工艺流程制备中锰钢板。熔炼：通过中频感应炉升温至 1640℃~1660℃分步熔炼废钢、铬铁、硅铁、镍铁、锰钢、钼铁等合金，然后依次加入硅钙合金和铝合金脱氧后出钢，其中钒铁和稀土在包内冲入钢水。成型：将镇静 3~4 分钟后的钢水浇入到抽真空状态下的 EPS 模具中，模具消解后获得铸件产品，保温 6 小时后出箱，加热板坯到 1180℃~1220℃，在 1000℃~1100℃范围内完成板坯的轧制。热处理：板材在电炉中以 200℃/小时的温度升至 1050℃，保温 2 个小时后进行水淬至 200℃以下。

测试方法

线切割尺寸为 10 × 10 × 10 mm 的块状金相试样，用水砂纸粗磨，W 3.5 的金刚石膏表面抛光，4%的硝酸酒精腐蚀液腐蚀抛光面，冲洗干燥后使用日本 Olympus PMG3 型金相显微镜观察金相组织。执行国

标 GB/T 6397-86 对拉伸试样进行加工, 沿轧制方向线切割加工标准样品, 在常温下, 采用 WE-60 型液压式万能材料力学试验机, 执行国标 GB/T 228.1-2010 进行拉伸试验, 每种钢测试 6 个样品, 取平均值, 上下标为保准偏差。切割块状试样, 镶嵌后对表面进行打磨抛光处理, 控制表面粗糙度 R_a 为 $0.08 \mu\text{m}$ 左右, 按照标准 GB/T 230.1-2009 进行洛氏硬度测试, 实验仪器为 HA-150A 型洛氏硬度试验机, 试验温度为常温, 每种钢测试 12 个点的硬度数据, 取其平均值作为硬度测试结果, 误差为均方根误差。加工成 V 型缺口的冲击样品, 采用 JBN-300 型摆锤式冲击试验机, 选用最大量程 300 J 的摆锤, 执行国标 GB/T 229-2007 进行测试。

3. 结果与讨论

3.1. 金相组织分析

图 1 为 BTW 中锰钢金相组织图, Mn 组合和 C 组均为单一的奥氏体组织, 晶粒呈不规则多边形, 在奥氏体晶内和晶界上存在少量离散分布的碳化物(细小的黑色斑点), 呈球粒状, 有利于提高材料的耐磨性能。

Table 1. The numbers of alloying component design experiment
表 1. 合金化成分设计实验编号

| 序号 | C | Si | Mn | V | Nb | Cr | Ti | Ni |
|----|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 1 | 0.70 | 0.28 | 7.90 | 0.28 | 0.03 | 2.69 | 0.05 | 0.16 |
| 2 | 0.76 | 0.25 | 6.98 | 0.26 | 0.02 | 2.71 | 0.05 | 0.15 |
| 3 | 0.76 | 0.27 | 7.21 | 0.26 | 0.02 | 2.69 | 0.05 | 0.16 |
| 4 | 0.77 | 0.27 | 7.10 | 0.26 | 0.03 | 2.69 | 0.05 | 0.16 |
| 5 | 0.78 | 0.27 | 7.36 | 0.26 | 0.02 | 2.68 | 0.05 | 0.15 |
| 6 | 0.83 | 0.26 | 8.50 | 0.27 | 0.03 | 2.68 | 0.05 | 0.15 |
| 7 | 0.84 | 0.27 | 8.58 | 0.28 | 0.02 | 2.67 | 0.05 | 0.15 |
| 8 | 0.89 | 0.26 | 8.62 | 0.27 | 0.03 | 2.68 | 0.05 | 0.15 |
| 9 | 0.91 | 0.25 | 8.62 | 0.26 | 0.02 | 2.70 | 0.05 | 0.14 |
| 10 | 1.01 | 0.26 | 8.53 | 0.26 | 0.02 | 2.69 | 0.05 | 0.14 |
| 11 | 1.07 | 0.27 | 6.80 | 0.26 | 0.02 | 2.72 | 0.05 | 0.15 |
| 12 | 1.11 | 0.25 | 8.90 | 0.28 | 0.04 | 2.69 | 0.05 | 0.14 |

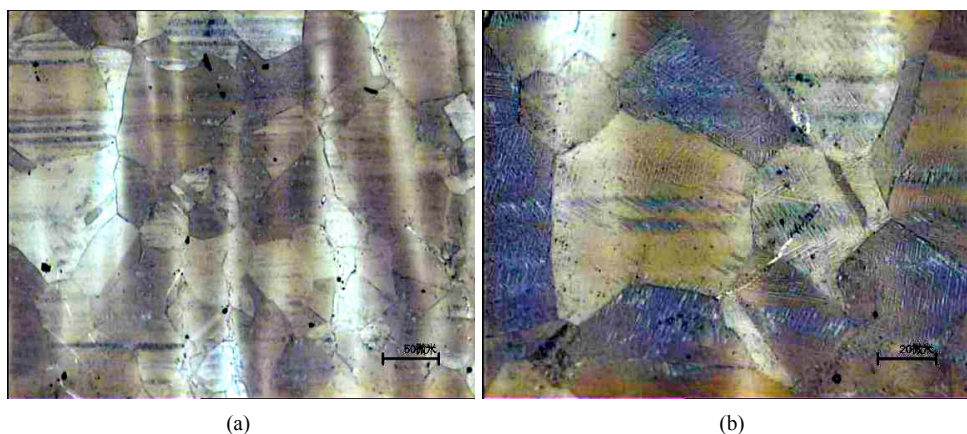


Figure 1. Metallographic structure of manganese steel in BTW: (a) 200 b; (b) 500 b
图 1. BTW 中锰钢的金相组织图: (a) 200 b; (b) 500 b

3.2. C 和 Mn 元素对力学性能的影响

3.2.1. 抗拉强度

抗拉强度测试结果见图 2 和图 3。结合表 1 数据分析可知随着锰含量的增加, 抗拉强度增加。含锰量在 8.6 wt% 可以获得较高的抗拉强度, 而含锰量低于平均值 7.1 wt% 抗拉强度则较低, 因此综合考虑其它因素, 实际生产中要获得较好抗拉强度, 锰钢的锰含量应控制 8.0 wt% 以上。从图 3 可以看出, C 含量对抗拉强度的影响以 0.91 wt% C 含量为界, 分为两个区域, 一区随 C 含量的增加, 抗拉强度呈增大趋势, 二区(超过 0.91 wt%) 随 C 含量增大而下降, 符合碳钢抗拉强度变化的基本规律。如果仅从抗拉强度角度分析, 碳含量的控制在 0.9 wt% 左右是比较合适的。

3.2.2. 表面硬度

洛氏硬度测试实验结果对比见图 4 和图 5, 从图中可以看出, 在所设计的成分范围内锰含量的变化对硬度的影响不大, 基本属于低合金化耐磨钢的硬度范围, C 含量对硬度有一定的影响, 低于 0.91 wt% C 含量, 随 C 含量的增加, 硬度略有提升, 但整体硬度变化不大。超过 0.91 wt% C 含量, 硬度明显上升, 基本符合含碳量与硬度的基本变化规律。考虑到抗拉强度的变化规律, 碳含量的控制应低于 0.9 wt%。

摩擦学的 Achard 理论认为硬度提升有利于提高抗磨损性能, 但对于中锰钢来说, 提高材料的耐磨性, 应控制中锰钢的硬度在一定范围内, 因为一方面磨损性能具有系统依赖性特征, 硬度仅是一个因素, 其工况耐磨性取决于综合性能的耦合作用, 包括硬度、强度、冲击韧性等, 具有良好性能组合的材料, 表现出较好的抗磨损性能, 因此考虑硬度的同时, 也必须考虑强度等因素。较高的含碳量提高了硬度, 但降低强度和韧性, 造成基体材料更易发生疲劳断裂磨损。另一方面中锰钢属于加工硬化型材料, 耐磨损性能的提高, 关键在于磨损工况对基体材料的加工硬化效应, 即使基体材料硬度低, 如果具有良好的加工硬化性能, 其耐磨损性能的提高也是必然的。

3.2.3. 冲击韧性

图 6 为常温下的冲击韧性测试结果。可以看到, Mn 含量 7.1 wt% 的冲击韧性略高于 Mn 含量 8.6 wt%, 结合强度和硬度的测试结果, 中锰钢的锰含量控制 8.0 wt% 是合适的, 具有良好的力学性能匹配。从图 7 碳含量的测试结果可以看出, 冲击韧性基本随 C 含量的增加, 呈现下降趋势, 符合 C 元素对冲击韧性的影响规律。特别是 C 含量超过 0.91 wt% 后, 冲击韧性均出现明显降低, 这对耐磨损性能的改善是不利的, 因此从冲击韧性的实验结果可以认为, C 含量控制 0.91 wt% 以下是合理的, 如果考虑硬度对耐磨损性能的影响, 0.9 wt% 左右的 C 含量是优化选择。

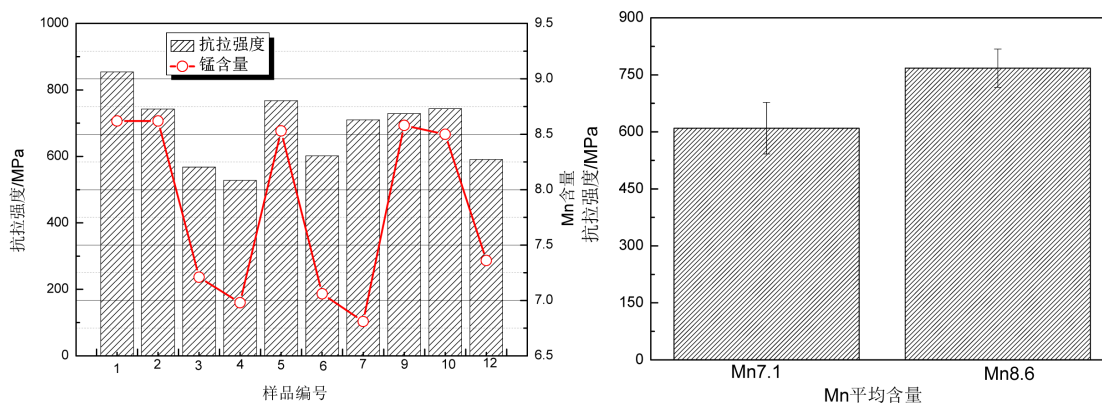


Figure 2. Relationship between tensile strength and Mn content
图 2. 抗拉强度与 Mn 含量的关系

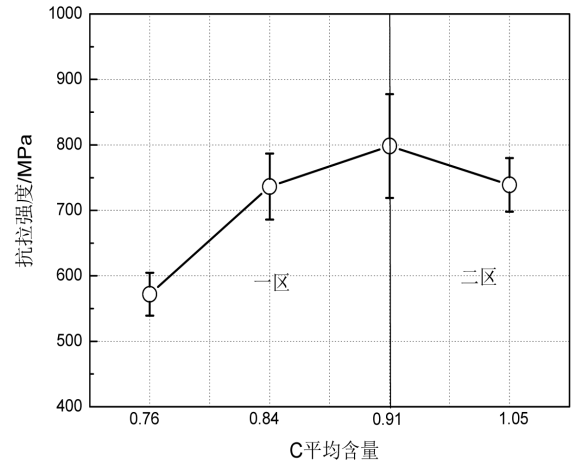
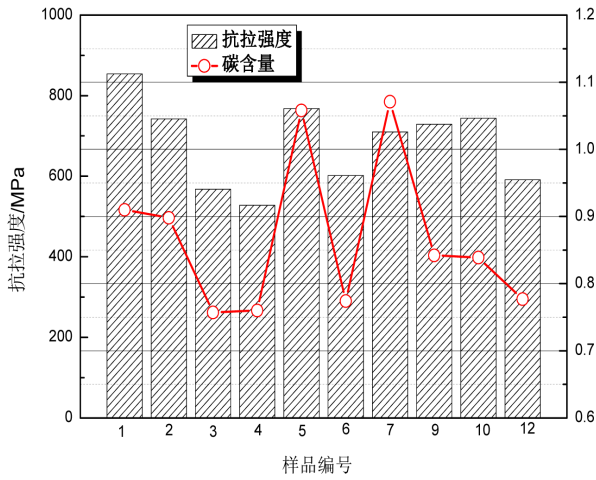


Figure 3. Relationship between tensile strength and C content
图 3. 抗拉强度与 C 含量的关系

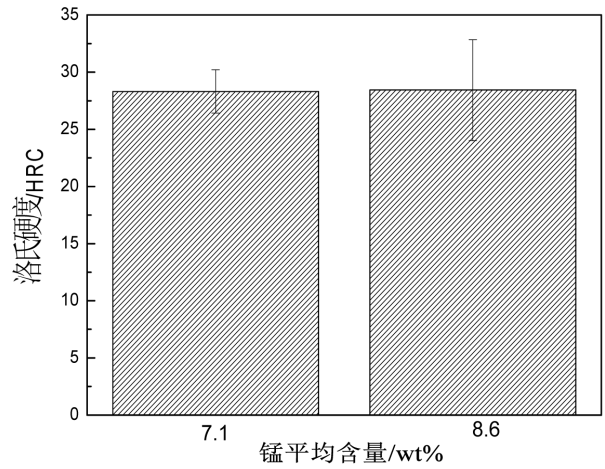
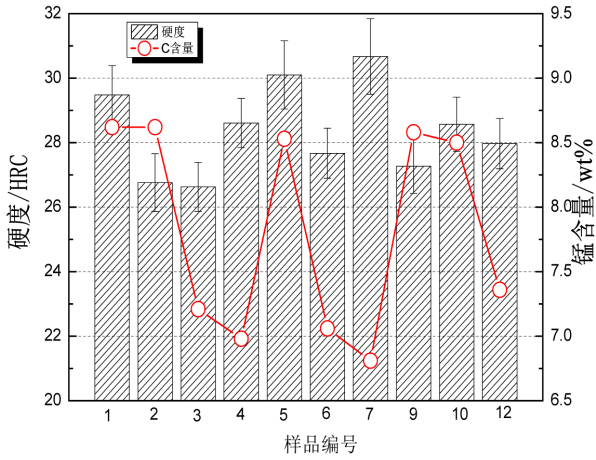


Figure 4. Relationship between surface hardness and Mn content
图 4. 表面硬度与 Mn 含量的关系

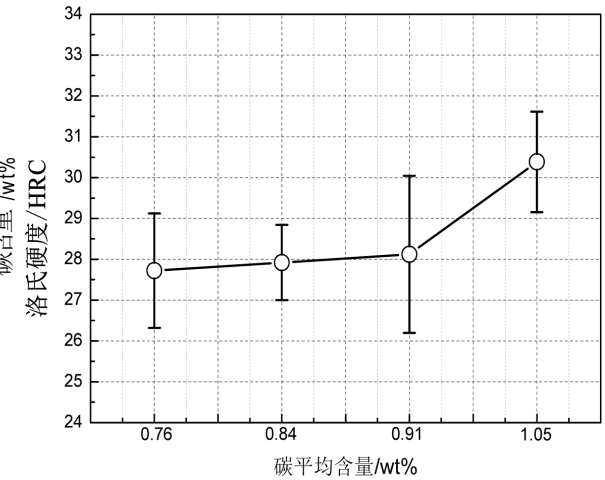
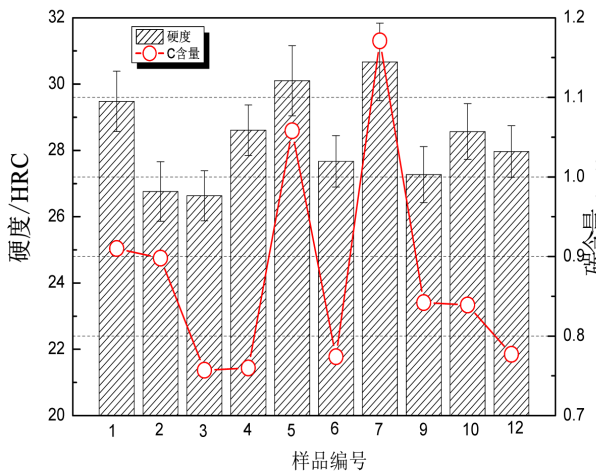


Figure 5. Relationship between surface hardness and C content
图 5. 表面硬度与 C 含量的关系

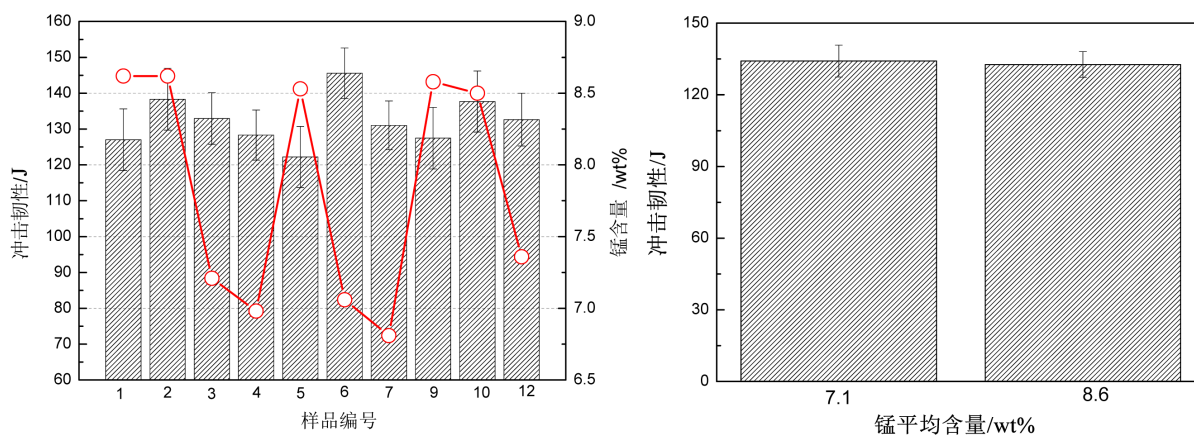


Figure 6. Relationship between normal temperature impact toughness and Mn content

图 6. 常温冲击韧性与 Mn 含量的关系

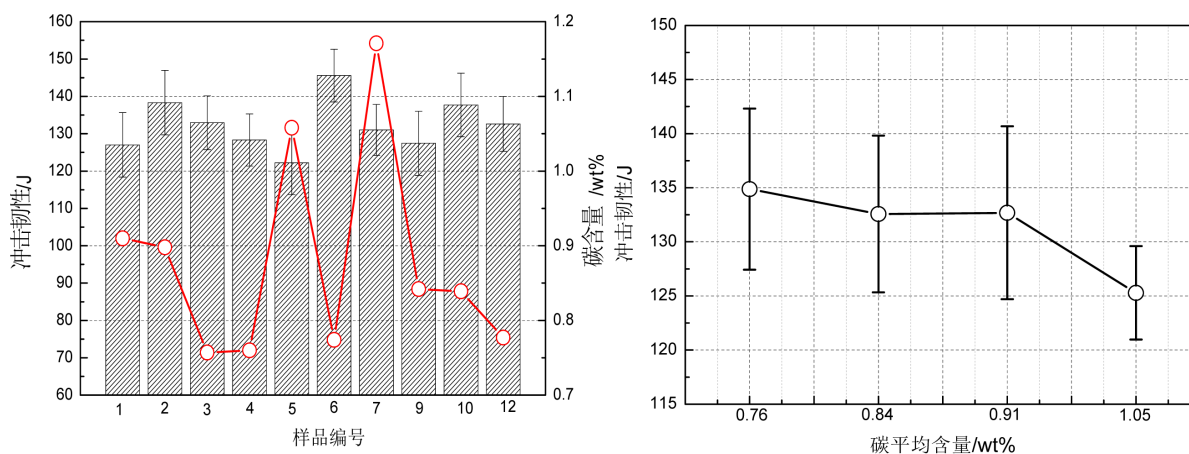


Figure 7. Relationship between normal temperature impact toughness and C content

图 7. 常温冲击韧性与 C 含量的关系

3.2.4. 冲击磨损性能

磨损试验在 MLD-10 型动载磨料磨损试验机上进行, 实验条件同 BTW 钢板, 冲击功选择 2.0 J。磨损损失重实验结果见图 8 和图 9。Mn 含量 7.1 wt% 的磨损损失重略低于 Mn 含量 8.6 wt%, 也基本在同一磨损水平。C 对磨损损失重的影响规律可以看出, 含碳量 7.6 wt% 具有较低的冲击磨损损失重。冲击磨损的破坏主要表现为凿削和疲劳剥落磨损, 与硬度和韧性密切相关。含碳量大时, 硬度增加, 有利于抵抗凿削破坏, 但韧性降低, 脆性增大, 疲劳剥落磨损加重。因此具有良好匹配的硬度和冲击韧性是冲击磨损性能提高的前提。

采用日立 S-3000N 型扫描电子显微镜对两组磨损表面进行观察, 图 10 和图 11 给出了磨损表面 SEM 图片。从图中可以看出, Mn 组和 C 组的冲击磨损破坏机制基本一致, 主要表现为多次塑变导致的疲劳断裂和凿削磨损。

4. 结论

1) 实验中锰钢均为单一的奥氏体组织, 随 C 含量增加, 黑色碳化物增多, 晶内晶界均有点状碳化物分布。

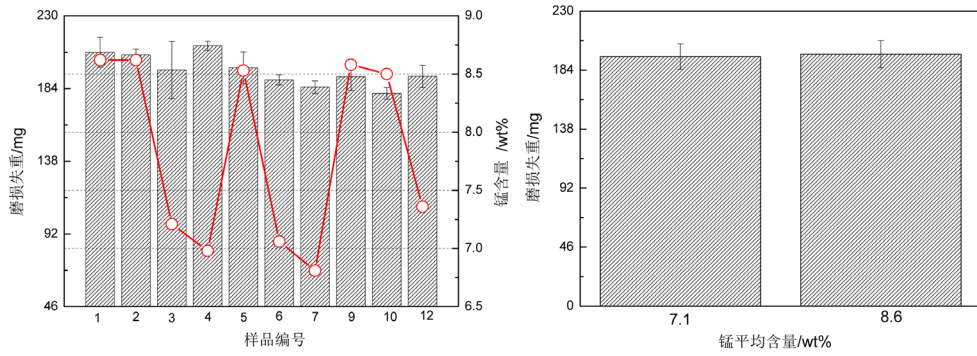


Figure 8. Relationship between impact grinding loss and Mn content

图 8. 冲击磨损失重与 Mn 含量的关系

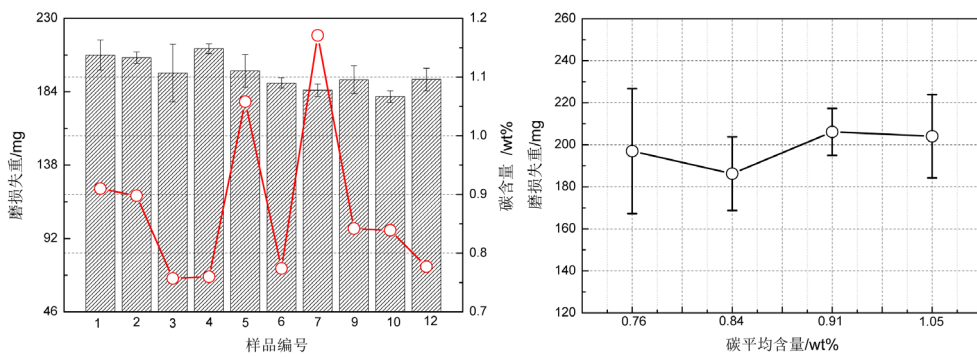
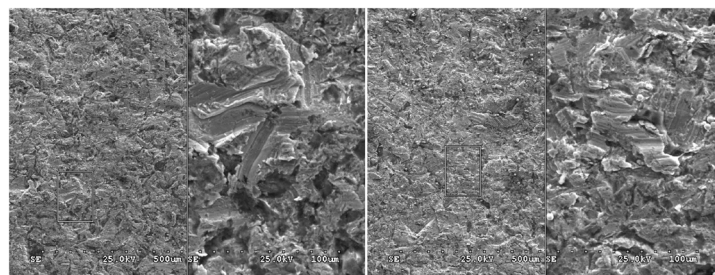


Figure 9. Relationship between impact grinding loss and C content

图 9. 冲击磨损失重与 C 含量的关系

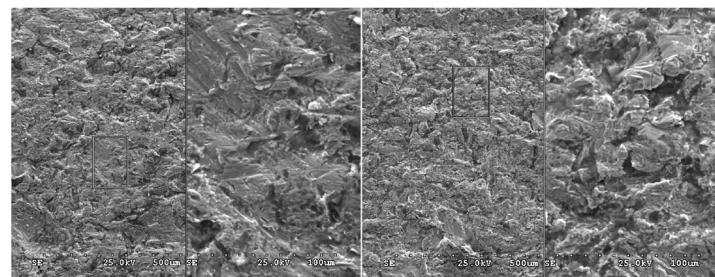


(a) 7.1Mn

(b) 8.5Mn

Figure 10. SEM image of wear surface of Mn group

图 10. Mn 组磨损表面 SEM 图



(a) 0.76C

(b) 0.91C

Figure 11. SEM image of wear surface of group C

图 11. C 组磨损表面 SEM 图

2) 在本实验设计成分范围内, 锰含量对抗拉强度的影响较为明显, 对硬度及磨损性能的影响较小。锰元素的减少降低了中锰钢的抗拉强度, 在实际生产中锰含量应不低于 8 wt%。

3) 碳元素的变化对强度、韧性、硬度和耐磨损性能均有较为明显的影响, 结合力学性能及耐磨损性能的测试结果, 碳含量应控制在 0.9%左右比较合适。

参考文献

- [1] 孟国营, 程晓涵. 我国矿用刮板输送机技术现状及发展分析[J]. 煤炭工程, 2014, 46(10): 58-60.
- [2] 贾会会. 刮板输送机中部槽的研究现状及发展趋势[J]. 矿山机械, 2010, 38(5): 13-16.
- [3] 吴兆宏, 朱华, 王勇华, 等. 刮板输送机磨损失效及对策[J]. 矿山机械, 2005, 33(7): 58-59.
- [4] Wang, J.H. (2014) Development and Prospect on Fully Mechanized Mining in Chinese Coal Mines. *International Journal of Coal Science and Technology*, **1**, 253-260. <https://doi.org/10.1007/s40789-014-0017-2>
- [5] 姜翎燕. 工作面刮板输送机技术现状与发展趋势[J]. 煤炭科学技术, 2007, 35(8): 102-106.
- [6] Wang, J.H., Yu, B., Kang, H.P., *et al.* (2015) Key Technologies and Equipment for a Fully Mechanized Top-Coal Caving Operation with a Large Mining Height at Ultra-Thick Coal Seams. *International Journal of Coal Science and Technology*, **2**, 97-161. <https://doi.org/10.1007/s40789-015-0071-4>
- [7] 于学谦. 矿山运输机械[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 1998: 15-35.
- [8] Lee, Y.K. and Han, J. (2015) Current Opinion in Medium Manganese Steel. *Materials Science and Technology*, **31**, 843-856. <https://doi.org/10.1179/1743284714Y.0000000722>
- [9] Garcia de Andres, C., Capdevila, C., San Martin, D., *et al.* (2002) Effect of Titanium on the Allotriomorphic Ferrite Transformation Kinetics in Medium Carbon-Manganese Steels. *Materials Science & Engineering: A*, **328**, 156-160. [https://doi.org/10.1016/S0921-5093\(01\)01690-2](https://doi.org/10.1016/S0921-5093(01)01690-2)
- [10] Hutchinson, B. and Ridley, N. (2006) On Dislocation Accumulation and Work Hardening in Hadfield Steel. *Scripta Materialia*, **55**, 299-302. <https://doi.org/10.1016/j.scriptamat.2006.05.002>
- [11] Dumay, A., Chateau, J.P., Allain, S., Migot, S. and Bouaziz, O. (2008) Influence of Addition Elements on the Stacking-Fault Energy and Mechanical Properties of a Austenitic Fe-Mn-C Steel. *Materials Science and Engineering: A*, **483-484**, 184-187. <https://doi.org/10.1016/j.msea.2006.12.170>
- [12] 张之卫. 消失模铝合金铸件缺陷分析及预防措施[J]. 金属加工(热加工), 2013, 63(3): 74-76.

知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2160-7613, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: ms@hanspub.org