

含碳化物等温淬火球铁腐蚀磨损特性的研究

李国禄, 郝晓燕, 刘金海, 董天顺, 赵雪勃, 曹惠, 张建军

(河北工业大学材料学院, 天津 300130)

摘要: 对含碳化物等温淬火球墨铸铁 (CADI) 在不同 pH 值腐蚀环境中的静载腐蚀磨损性能进行了研究, 比较了不同等温淬火温度 CADI 的腐蚀磨损性能, 并与低铬铸铁进行了对比。结果表明: 随着等温淬火温度的升高, CADI 的相对耐磨性先降低后升高, 在 240℃ 等温淬火时耐磨性达到最低。在各种试验条件下的 CADI 耐磨蚀性均优于低铬铸铁。

关键词: CADI; 腐蚀磨损; 等温淬火温度; 残余奥氏体

Corrosion Wear Behavior of Carbide Austempered Ductile Iron

LI Guo-lu, Hao Xiao-yan, LIU Jin-hai, DONG Tian-shun,

ZHAO Xue-bo, CAO Hui, ZHAO Jian-jun

(Hebei University of Technology, Tianjin 300130)

Abstract: The three-body corrosion wear behaviors of carbide austempered ductile iron and low chromium white cast iron under the test conditions of different PH value slurries have been studied. The results show that the wear resistance of carbide austempered ductile iron excelled that of low chromium white cast iron no matter what test carried out in the static three-body abrasive wear or corrosion wear. As the rising of the austempered temperature, the corrosive wear resistance of CADI decreased, and arriving its minimum at 240℃, then it begin to increase while the temperature rising continually.

Key words: CADI; corrosion-wear; austempering temperature; residual austenite

1 引言

等温淬火球墨铸铁 (ADI) 的发展是从上世纪 50 年代末兴起的一种新型材料, 由于具有优异的强韧性、抗疲劳性以及良好的断裂韧性和耐磨性, 在冶金和工程领域被视为很有发展前途的材料^[1], 到现在已经在农业设备及建筑采矿业中得到较为广泛的应用。含碳化物等温淬火球墨铸铁是 ADI 的一种派生材料, 是在 ADI 中加入某种金属元素, 经过等温淬火使基体中形成一定数量的碳化物, 最终所形成的显微结构是由针状铁素体、残余奥氏体、碳化物和石墨球所组成^[2,3]。

近年来, CADI 的高硬度、高塑性与优良的韧性, 使其作为耐磨材料得到了较广泛的应用, 并对其成分、组织、耐磨性间的相互关系进行了研究^[4,5]。但对其在矿山湿磨条件下的腐蚀磨损特性研究甚少。为此我们试验研究了不同等温淬火温度下 CADI 在不同 pH 值(中性、酸性和碱性)介质条件下的腐蚀磨损特性, 并与低铬白口铸铁进行对比, 同时对球墨铸铁显微组织对腐蚀磨损形貌的关系进行了研究。

2 试样制备及试验方法

本文选用 4 种不同等温淬火温度下的 CADI 作为试验材料, 并选取矿山常用低铬铸铁磨球作对比材料, 具体材料成分见表 1。材料在中频感应电炉中熔炼, 采用金属型覆砂铸造磨球, 一模四腔,

磨球的热处理采用箱式热处理炉进行奥氏体化，之后用盐浴等温淬火，其热处理工艺如表 2 所示。

表 1 试样的化学成分

(w_B/%)

材料	C	Si	Mn	Cr	S	P
CADI	3.52	2.67	2.69	0.59	<0.06	<0.06
低铬铸铁	3.86	0.80	1.12	0.91	<0.3	<0.3

表 2 试样热处理工艺

试样代号	奥氏体化温度/℃	奥氏体化时间/h	等温淬火温度/℃	等温淬火时间/h
C210	920	2.0	210	2.5
C240			240	
C270			270	
C300			300	

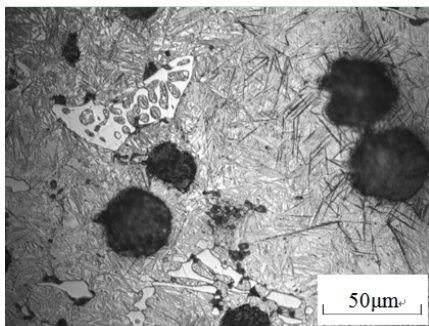
选用 MLS-225 型湿砂橡胶轮式磨损试验机，试样尺寸为 57mm×25.5mm×10mm，试验施加载荷为 210N，选用橡胶轮初始直径 178mm，主轴转速 240 转/min，总转数 6000 转。试验介质为 pH≈4 的硫酸水溶液、pH≈7 的自来水和 pH≈10 的氢氧化钠水溶液，并加入 40/70 目的石英砂，砂浆比例为 3: 2，用 pH 计控制砂浆的 PH 值。试验三次取平均值。

本次磨损试验用相对耐磨性 ε 来表征材料的耐磨性，即

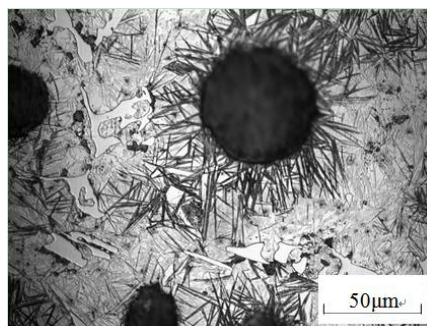
$$e = \frac{e_{\text{试样}}}{e_{\text{标样}}} = \frac{W_{\text{标样}}}{W_{\text{试样}}}$$

其中： ε 为相对耐磨性，W 为磨损量。

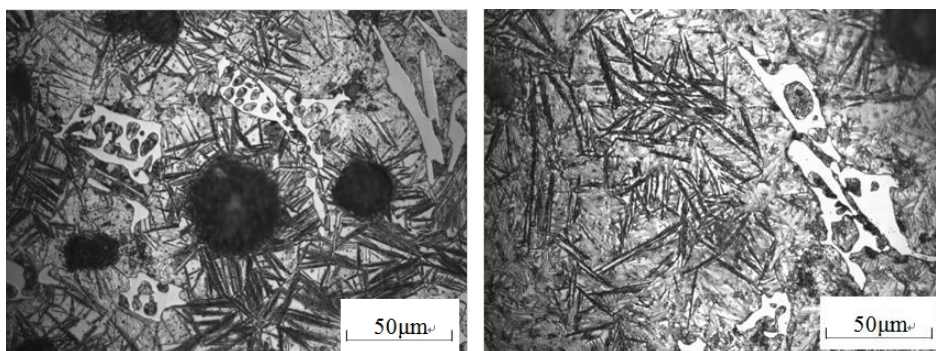
不同等温淬火温度 CADI 的显微组织及其结构对其性能有很大影响，为此对试样组织进行观察和分析。图 1 为不同等温淬火温度 210℃、240℃、270℃、300℃下保温 2.5h 后 CADI 组织形貌。等温淬火温度较低时，组织为贝氏体，形状为针状，而且晶粒比较细小。随着等温淬火温度的升高，贝氏体针变粗变长；当等温淬火温度达到 300℃，针状铁素体继续减少，大多数的贝氏体针已经变得较粗，贝氏体针的长度也有所增加，类似羽毛状。表 3 为试样硬度及残余奥氏体含量，在等温淬火温度升高的过程中，CADI 组织中残余奥氏体含量逐渐增加，残余奥氏体硬度较小；贝氏体针逐渐变粗，晶粒逐渐粗大，CADI 的硬度逐渐降低。



(a) 等淬温度为 210℃时 CADI 组织



(b) 等淬温度为 240℃时 CADI 组织



(c) 等淬温度为 270℃时 CADI 组织

(d) 等淬温度为 300℃时 CADI 组织

图 1 不同等温淬火温度下的试样组织

表 3 等温淬火温度对硬度及残奥量的影响

	C210	C240	C270	C300	低铬铸铁
硬度/HRC	57.5	54.2	52.4	47.8	43
残奥含量/%	15.3	19.8	22.1	30.7	--

3 试验结果及分析

试样相对耐磨性见表 4。试验结果表明：（1）在酸性（pH=4）介质中四种不同等温淬火温度的 CADI 试样的相对耐磨性变化趋势为：随着等温淬火温度的升高，耐磨性能先降低再升高，当等温淬火温度为 240℃ 和 270℃ 时耐磨性最差，温度为 300℃ 时耐磨性升高；（2）中性介质中四种不同等温淬火温度的 CADI 试样的相对耐磨性变化趋势为：随着等温淬火温度的升高，耐磨性能呈现逐渐降低的趋势，与硬度的变化趋势相同；（3）碱性介质中试样相对耐磨性随着等温淬火温度的升高，先降低后升高，当等温淬火温度为 270℃ 时耐磨性最差。在三种试验条件下低铬铸铁耐磨性能均远远低于 CADI。

表 4 静载三体腐蚀磨损试验耐磨性对比

	C210	C240	C270	C300	低铬铸铁
pH=4	1.41	1.14	1.19	1.32	1.00
pH=7	1.37	1.26	1.23	1.19	1.00
pH=10	1.55	1.35	1.24	1.39	1.00

CADI 具有较好的耐磨性主要是由于^[6]：①CADI 中含有碳化物，这些碳化物在分布在基体中起到一个骨架的作用，能够提高基体的耐磨性。②在于 CADI 中含有残余奥氏体，这些残余奥氏体在受到外力作用下易转变成马氏体，产生加工硬化，提高 CADI 的耐磨性。由于奥氏体有耐腐蚀性能，它的存在能提高基体的耐腐蚀磨损性能，因此 CADI 的耐磨蚀性远高于低铬铸铁。

等温淬火温度较低为 210℃ 时，热处理后组织中残奥含量较少，材料硬度高，在进行磨损试验时，高硬度致使 CADI 的耐磨性较高。随着等温淬火温度的提高，当温度到达 270~300℃ 的区间后，碳原子的扩散能力增强，从而导致最终组织中残余奥氏体的含碳量较高，在热力学和动力学上均已稳定，这时基体中奥氏体的量大幅增加，导致基体硬度大幅降低，此时材料的耐磨性主要取决于其

硬度大小, C270 表现出较低的耐磨性。当淬火温度为 300°C 时, 残余奥氏体的量达到了最大值, 此时残余奥氏体的耐蚀性能对材料耐磨性能有很大贡献。因为残余奥氏体的增加提高了基体的耐蚀能力, 最大限度地降低了腐蚀磨损对基体的破坏, 使渗碳体能牢固地镶嵌在基体中, 从而使材料的耐磨性有了一定的提高。

图 2 为在不同腐蚀介质中湿砂橡胶磨损试验材料的质量损失。可见, 在酸性介质中, 材料的质量损失比碱性介质的高, 中性介质中材料质量损失最低。材料在磨损过程中受到的腐蚀作用对其耐磨性能有很大影响, CADI 试样磨损区域在扫描电镜下的典型形貌如图 3 所示。从图 3a 中可以看出: 在酸性介质中, 磨损后的材料表面有明显的腐蚀磨损剥落坑, 试验机所加载荷产生的法向力把砂粒压入金属表面, 在金属表面形成压痕或裂纹, 腐蚀使裂纹加深加大, 加速磨损剥落; 橡胶轮转动所产生的切向力使试样与橡胶轮之间的磨料向前推进, 磨料就如刀具一样, 在表面形成切削面而产生切屑。试样磨损的形式主要是微观切削磨损与腐蚀磨损剥落。图 3b 中性介质中试样磨损后的表面只有微观切削和少许微裂纹。图 3c 中可以看到切削痕和微裂纹以及塑性变形现象。

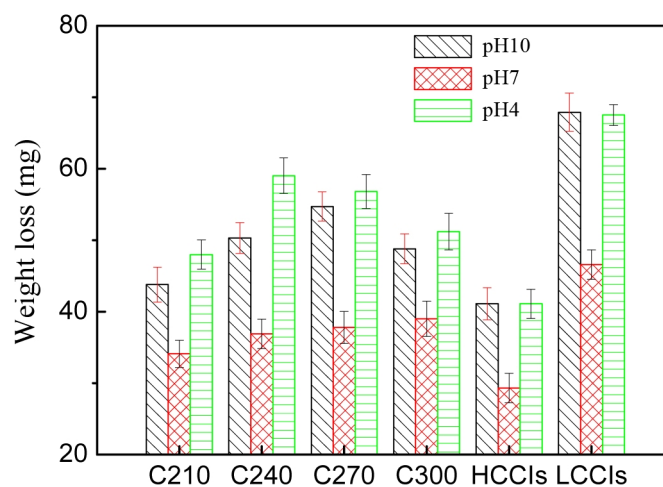
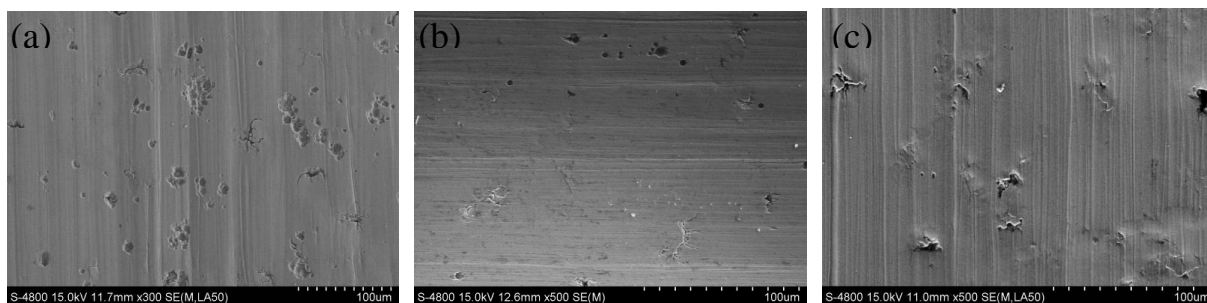


图 2 不同腐蚀介质中 CADI 质量损失(mg)



(a) 酸性介质中磨损表面典型形貌

(b) 中性介质中磨损表面典型形貌

(c) 碱性介质中磨损表面典型形貌

图 3 磨损表面典型微观形貌

4 结论

(1) 等温淬火温度对 CADI 的腐蚀磨损特性有很大影响, 随着等温淬火温度的升高, 腐蚀介质成酸性和碱性时, CADI 的相对耐磨性先降低后升高; 腐蚀介质为中性时, CADI 的相对耐磨性呈现逐渐降低趋势。

(2) 不同腐蚀介质对 CADI 的腐蚀磨损性能有较大影响, 酸性介质中, 腐蚀对磨损的促进作用较大, CADI 材料的磨损机理为微观切削和腐蚀磨损剥落; 在碱性和中性介质中, 磨损机理主要为微观切削。

(3) CADI 静载腐蚀磨损性能远优于低铬铸铁。

参考文献:

- [1] Morgan H L , B Sc, C. Eng. Introduction to foundry production and control of austempered ductile irons [J]. The British Foundryman, 1987, 2/3: 98-107.
- [2] K.L.Hayrynen, K.R.Brandenberg. Carbodic Austempered Ductile Iron (CADI)-The New Wear Material[J]. Transaction of American Foundry Society, 2003, 111: 845-850.
- [3] Keough J. R, Hayrynen K. L. Carbodic Austempered Ductile Iron (CADI)[J]. Ductile Iron News, 2000(3): 845~850.
- [4] Laino, J.A. Sikora,R.C. Dommarco. Development of wear resistant carbodic austempered ductile iron (CADI)[J]. Wear, 2008,265 (1-2): 1-7.
- [5] Y. Sahin, O. Durak. Abrasive wear behaviour of austempered ductile iron[J]. Materials and Design, 2007, 28: 1844-1850.
- [6] Liu jinhai, Ye xuexian. Application and prospect of ADI and CADI in metallurgical and mine industries [J].Modern Cast Iron, 2008, 28(4): 26-30.