

28Cr 铸铁冲蚀磨损过程中碳化物及基体的作用机理

鲍崇高, 高义民, 邢建东, 张国赏, 朱金华

(西安交通大学材料科学与工程学院, 710049, 西安)

摘要: 利用高速液/固双相流冲蚀磨损试验机模拟不同试验条件,对改性 28Cr 高铬铸铁进行了不同冲蚀速度下的抗冲蚀磨损性能研究,着重讨论了该材料奥氏体基体的形变强化机理. 研究结果表明:改性 28Cr 高铬铸铁材料中的高硬度相碳化物发挥了优越的抗磨削作用,同时保护了基体;在 34 m/s 和 45 m/s 冲蚀速度下,后者的冲蚀磨损量及增加速度远大于前者的,同时相变马氏体的相对体积分数从试验前的 16.13% 分别增加到 42.12% 和 73.16%,冲蚀磨损过程中亚表面变形层内基体产生的相变和位错密度增加等形变强化是该材料耐冲蚀性能优异的另一重要原因.

关键词: 28Cr 铸铁;奥氏体基体;冲蚀磨损;形变强化

中图分类号: TB133;TB333 **文献标识码:** A **文章编号:** 0253-987X(2004)11-1156-04

Mechanisms of Carbide and Matrix of 28Cr Cast Iron During Erosion2Wear Process

Bao Chonggao, Gao Yimin, Xing Jiandong, Zhang Guoshang, Zhu Jinhua

(School of Material Science and Engineering, Xi an Jiaotong University, Xi an 710049, China)

Abstract: The erosion2corrosion tester with high speed of liquid2solid two2phase flow was used to simulate dif2ferent wearing conditions. The erosion2wear resistance of the newly developed 28Cr cast iron was investigated with varying erosion velocities, and the strain hardening mechanism of the austenitic matrix of the iron was em2phatically discussed. The results show that the carbide of 28Cr cast iron can protect the austenitic matrix effec2tively, and stand against the cutting action from the slurry particles because of its high hardness. The mass loss of the iron at the erosion velocity of 45 m/s is larger than that at 34 m/s. In addition, the relative volume frac2tion of martensite increases from 16.3% to 42.2% at the velocity of 34 m/s, and to 73.6% at 45 m/s, respec2tively. It is suggested that the strain hardening, including phase transformation and higher dislocation density, may be another main factor of the excellent wear resistance of the 28Cr cast iron.

Key words: 28Cr cast iron; austenitic matrix; erosion2wear; strain hardening

含沙水域水电工程中运行的过流部件,如渣浆泵泵壳、档板,水轮机转轮、座环、喷嘴、喷针、水斗等,长期存在冲蚀、腐蚀、空蚀以及彼此间的交互作用破坏,不仅材料损耗巨大,而且设备运行效率降低,同时严重污染生活和水环境(因磨损间隙产生漏油、噪声)^[1-3],因此开发合适的耐磨耐蚀材料已成为众多学者所关注的问题.

选择或开发耐冲蚀磨损材料要从耐磨、耐蚀和防空蚀等方面考虑.材料硬度的高低对材料的耐冲蚀性能有很大的影响,但硬度越高耐冲刷腐蚀能力并不一定越强.本文所研究的耐磨蚀合金与传统的耐磨耐蚀合金有着不同的设计和发展思路.文献[4]所提出的耐磨蚀合金的设计原则,特别是利用合金材料的形变强化能力提高其耐磨蚀性,是选择或开

收稿日期: 2004-04-07. 作者简介: 鲍崇高(1966~),男,副教授,清华大学材料系博士后. 基金项目: 国家自然科学基金重点资助项目(59831030);国家重点基础研究专项经费资助项目(G19990650).

发耐冲蚀磨损材料需要着重考虑的一个重要方面. 本文对改性 28Cr 高铬铸铁进行了不同冲蚀速度下的冲蚀磨损性能研究,着重讨论了奥氏体基体的形变强化机理,以期为该材料的推广应用进行理论上的探索.

1 试验材料

在冲蚀磨损工况中,15Cr、20Cr 系列高铬铸铁材料已在渣浆泵、灰浆泵等的泵体、叶轮(叶片)、前后护板等零部件上广泛应用^[5,6],水轮机抗磨板、引黄工程中多种型号的水泵叶轮已采用高铬铸铁 C217Cr25 等材料制造^[7]. 由于 Cr 可以有效地提高高铬铸铁的铸态淬透性,使得 28Cr 铸铁有可能在铸态下直接投入使用,因而这对于一些形态复杂或尺寸较大的耐磨件的制造具有重要意义,同时 Cr 还可以显著地改善材料的耐蚀性. 高铬铸铁的应用还有许多工作要做,主要在改善碳化物形态,提高强度、韧性等几方面.

本研究组前期对传统 28Cr 高铬铸铁进行了改性研究,包括选择适当的 C 含量,加入适量的合金 Ni、V 以及稀土变质处理等措施,使得碳化物数量适中,材料的强度、韧性提高.

表 1 是铸态改性 28Cr 高铬铸铁材料的化学成分,表 2 是该材料的组织及机械性能测试结果.

表 1 改性 28Cr 高铬铸铁的化学成分

w/ %									
C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni	V	Cu	
1156	0173	0181	01013	01019	28160	7144	4178	2103	

表 2 改性 28Cr 高铬铸铁的组织及机械性能

组织	宏观 HRC	基体 Hv	碳化物 Hv	拉伸强度 /N mm ⁻²	冲击韧性 /J cm ⁻²
+M ₇ C ₃	3916	363	1 383	88613	2617

2 高速冲蚀磨损试验

本研究参照文献[8]的转盘式空蚀及磨损试验机装置,研制了一台 GKMS - 45 高速空蚀磨损旋转圆盘试验机,设计了含沙水池 水泵 转盘室 含沙水池循环系统. 旋转圆盘冲蚀空蚀转盘室的实体见图 1,冲蚀磨损试样形状及尺寸见图 2,试验机多孔旋转圆盘的形状及试样分布位置如图 3 所示.

该试验机具有如下特点: 试样与水流相对运动的最高线速度达 45 m/s,相当于水头高度 100 m,可以模拟我国长江三峡大型水电站第一期工程

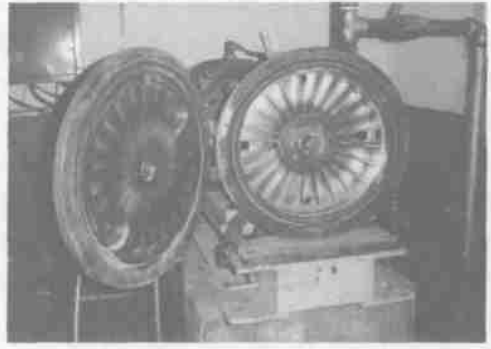


图 1 GKMS - 45 试验机转盘室实体

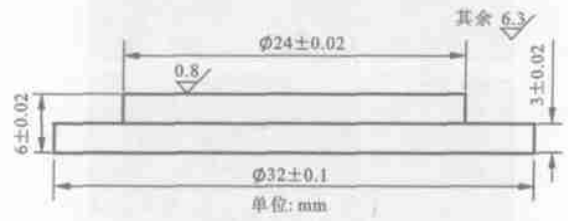


图 2 冲蚀磨损试样的形状及尺寸

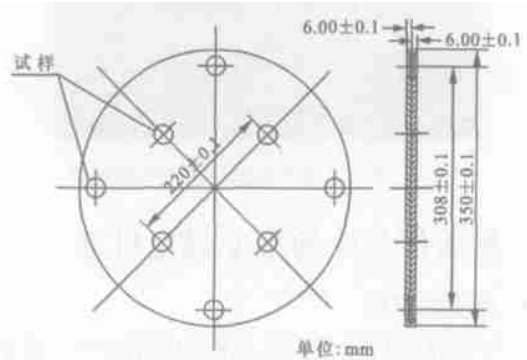


图 3 GKMS - 45 试验机旋转圆盘及试样位置示意图

的水头高度进行空蚀、冲蚀试验; 试样与水流相对运动速度恒定,受水流带动的影响小,可比性强.

用试样在一定时间内的质量损失来反映试验材料的冲蚀磨损性能. 称量仪器为 Sartorius B210s 型数字电子天平,最大称量范围为 210 g,精度为 011 mg.

图 4 是在介质含沙量为 516 kg/m³、冲蚀角度为 0 时,两种冲蚀速度下试验材料冲蚀磨损的质量

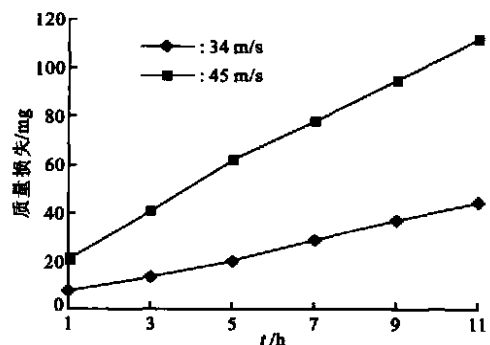


图 4 改性 28Cr 高铬铸铁高速冲蚀磨损质量损失的比较

损失比较,可以看到两种冲蚀速度下试验材料的冲蚀磨损质量损失都随试验时间的增加呈线性增加,且当冲蚀速度为 45 m/s 时的质量损失远高于 34 m/s 时的质量损失。

图 5 为试验材料失效试样正切面的形貌,表明在冲蚀磨损过程中,试验材料中凸出的硬质相碳化物具有远高于基体的硬度,发挥了优越的抗磨削作用,同时保护了基体,这正是该材料的抗冲蚀磨损能力优越于传统应用材料的内在机制。

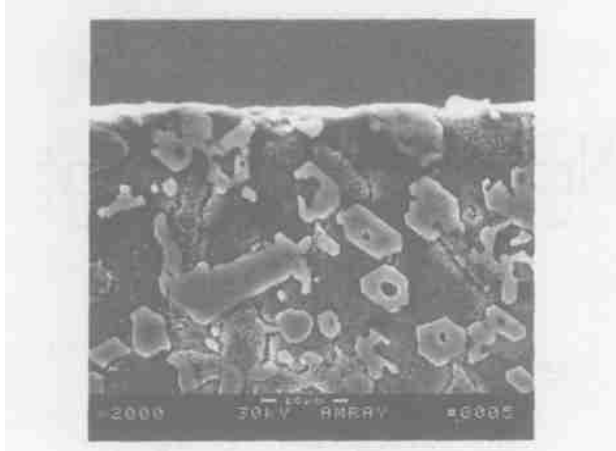


图 5 冲蚀磨损失效试样的正切面形貌

3 奥氏体基体的形变强化机理

3.1.1 相变的产生

本研究对具有奥氏体基体的改性 28Cr 高铬铸铁冲蚀磨损后的基体强化行为进行了分析。

图 6 是铸态改性 28Cr 材料试验前原始态的 X 射线衍射图谱(铜靶),可以看到除 M_7C_3 型(部分含 V)碳化物外,奥氏体()的相对体积分数 k (指奥氏体体积在奥氏体和马氏体总体积中的分数)为 8317%,原试样表面因加工等原因产生的相变马氏体()的相对体积分数 k 为 1613%。

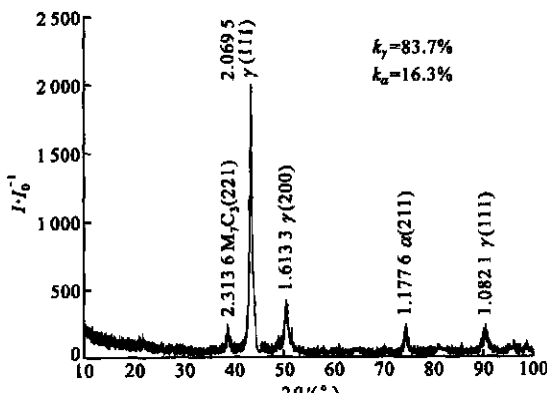


图 6 试验前铸态改性 28Cr 材料表面的 X 射线衍射图谱

图 7、图 8 是冲蚀速度分别为 34 m/s 和 45 m/s 时,试样经冲蚀磨损试验后的 X 射线衍射图谱,可以看到基体中发生了奥氏体向马氏体的转变,马氏体的相对体积分数分别为 4212% 和 7316%。

当高速水流冲击改性 28Cr 材料表面时,高冲击能量必然向奥氏体基体传递,导致冲击表面的温度陡升陡降,即存在由能量涨落向温度涨落(“热涨落”)的转换^[9],在该转换过程中奥氏体发生了晶体结构转变,基体瞬间过冷至 t_{Ms} 点时便开始了马氏体的形核和长大过程,新的相结构——马氏体由此产生。马氏体中大量的过饱和碳原子造成原子排列发生畸变,产生较大内应力,因此具有较高的硬度和强度,从而提高了材料表层的抗冲蚀磨损能力。

3.1.2 变形层位错密度测试

材料表面在冲蚀磨损后基体的形变强化能力提高,不仅发生组织变化(马氏体相变),微观上位错、孪晶的产生或密度增加也是基体抗疲劳、变形能力提高的一个重要方面^[10,11]。滑移是金属(多晶体)塑性变形的最常见方式,当金属材料表面受到力的作

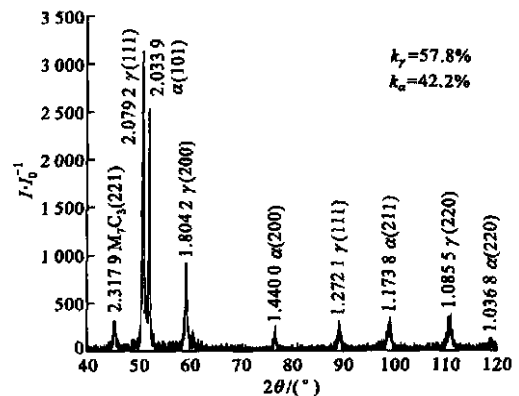


图 7 冲蚀速度为 34 m/s 时 28Cr 材料表面的 X 射线衍射图谱

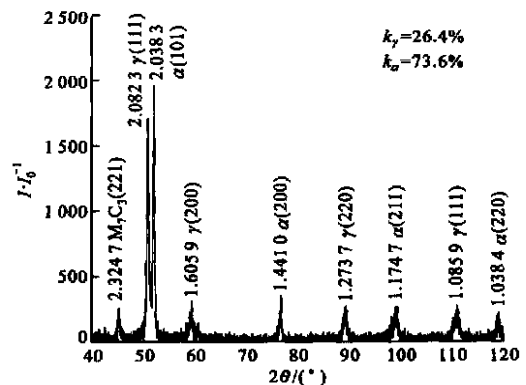


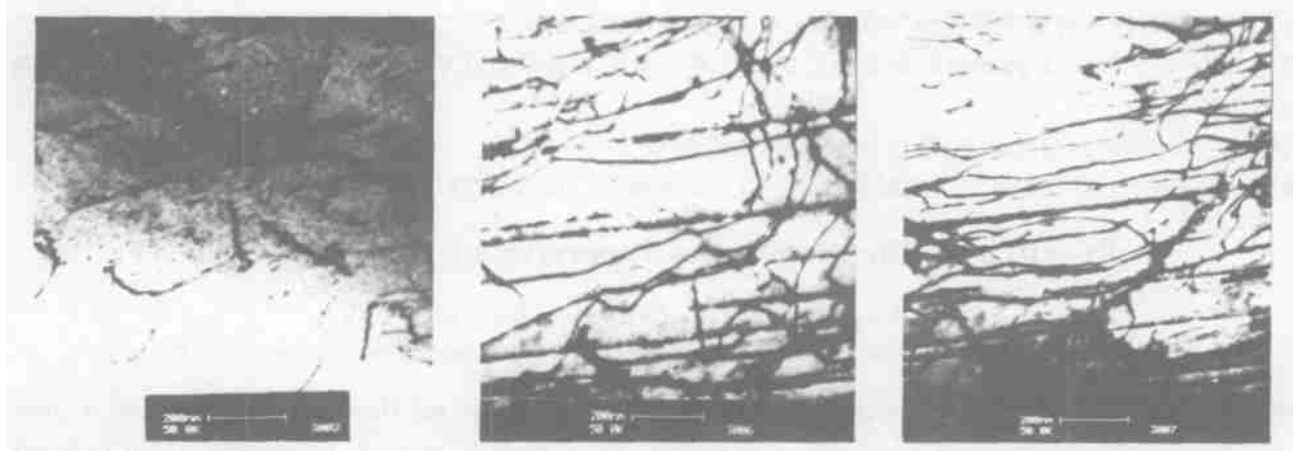
图 8 冲蚀速度为 45 m/s 时 28Cr 材料表面的 X 射线衍射图谱

用时,其表面损伤和内部不均匀性等引起的应力集中可导致滑移增多,同时有非均匀的位错萌生、位错密度增加或产生“位错缠结”,导致多晶体织构的各向异性增加,材料的强度、硬度增加,因而抗疲劳、变形能力提高。

本研究对原始态的铸态改性 28 Cr 材料和不同冲蚀速度下材料表面 20 ~ 30 μm 内的亚表层进行了透射电镜(TEM)显微观察(如图 9 所示)。透射电镜制样程序为:用钼丝切割机将试样切成 0.13 mm 的薄片;用电解抛光方法将该薄片减薄至 50 μm 以下,直至第二次发生穿孔,以便金属薄膜对电子束透明。不采用机械减薄方法主要是使试样表面所受的外来应力最小。

图 9a 是冲蚀磨损前试样表面的透射电镜观察形貌,可以看到层位错很少,而且只是出现了单条的位错线。分析认为,这些位错线主要是由试样的机加工引起的。从图 9b、图 9c 可以看出,在高速冲蚀磨损后,试验材料亚表层基体中均有新的位错产生,位错密度明显增加,且因冲刷引起的方向性明显,在最高试验速度 45 m/s 下,位错密度增加最多。

由于位错滑移线的增多和晶粒内的位错运动,引起了材料晶体组织结构的变化,因此在晶体内部产生内应力而阻止了滑移继续进行,提高了材料受冲击表面的抗变形能力。上述结果及分析表明,材料冲蚀磨损过程中基体表面变形层内产生的形变强化,是该材料耐冲蚀性能优越在微观上的另一重要表征。



(a) 冲蚀磨损前

(b) 34 m/s 冲蚀磨损后

(c) 45 m/s 冲蚀磨损后

图 9 试验材料冲蚀磨损前、后表面亚表层的 TEM 形貌

4 结 论

(1) 改性 28Cr 高铬铸铁材料抗冲蚀磨损性能优异的一个重要特征是存在高硬度的硬质相碳化物,发挥了优越的抗磨削作用,同时保护了基体。

(2) 试验材料在冲蚀磨损过程中,基体表面变形层内产生的相变和位错密度增加等形变强化作用,是该材料耐冲蚀性能优异的另一重要原因。

参考文献:

[1] 郭东安. 六郎洞水电站转轮快速损坏的症结和解决方案[A]. 顾四行. 水机磨蚀论文集 [C]. 天津:天津磨蚀所,1995. 54 - 59.

[2] 梁武科,廖伟丽,罗兴琦. 含沙水流中水轮机的磨蚀与防护[J]. 水力发电学报,1998,62(3):78 - 83.

[3] 吴培豪. 对含沙水流水轮机破坏的看法与对策[A]. 顾四行. 水机磨蚀论文集 [C]. 天津:天津磨蚀所,1998. 63 - 67.

[4] 李诗卓,姜晓霞. 耐磨蚀合金设计原则的探讨[J]. 腐

蚀科学与防护技术,1995,7(2):122 - 129.

[5] 周庆德,饶启昌,方亮,等. 4PH 杂质泵过流部件(护套)的磨损失效分析[A]. 周庆德,饶启昌,苏俊义. 铬系抗磨铸铁 [C]. 西安:西安交通大学出版社,1987. 226 - 229.

[6] 李卫. 热强碱性铝矿浆冲刷腐蚀及抗磨蚀铸铁材料的研究[D]. 西安:西安交通大学机械工程学院,2001.

[7] 曹征齐,孙国伟. 小浪底水利枢纽建设中的重要技术创新[J]. 水力发电,2000,9(8):29 - 34.

[8] 何筱奎. 三门峡水轮机抗磨蚀材料优选实验研究[A]. 顾四行. 水机磨蚀论文集 [C]. 天津:天津磨蚀所,1995. 38 - 48.

[9] 邓永瑞. 马氏体转变理论 [M]. 北京:科学技术出版社,1993:1108 - 136.

[10] 范继美,万光琨. 位错理论及其在金属切削中的应用 [M]. 上海:上海交通大学出版社,1991. 48 - 188.

[11] 杨顺华. 晶体位错理论基础 [M]. 北京:科学出版社,1988. 1 - 26.

(编辑 葛赵青)