DOI: 10.16410/j.issn1000-8365.2022.2094

冲击功对 ZGMn18Cr2 高锰钢组织及 耐磨性能的影响

陈胜迁,刘让贤,王 波,孙甲尧,卢端敏

(张家界航空工业职业技术学院航空制造学院,湖南张家界 427000)

摘 要:通过模拟实际工况条件,运用金相显微镜、扫描电镜等分析手段,对比研究不同冲击功作用下的 ZGMn18Cr2 高锰钢的组织、力学性能及耐冲击磨损行为。结果表明,不同冲击功作用下,高锰钢的滑移带密度随之增 大,最高硬度为448、478、545 HV,硬化层深度为0.19、0.29、0.7 mm,加工硬化效果逐渐提高。在本实验室模拟工况条件 下,当冲击功为3J时,高锰钢的加工硬化能力得到较为充分发挥,磨损失重最小,表面损伤为较短的切削划痕和较多的 犁沟、犁皱,磨损机制主要以切削磨料磨损和塑变剥落磨损为主。

关键词:高锰钢;冲击磨损;磨损机理

中图分类号: TG142.72

文献标识码:A

文章编号:1000-8365(2022)11-0984-05

Effect of Impact Energy on the Microstructure and Wear Properties of ZGMn18Cr2 High Manganese Steel

CHEN Shengqian, LIU Rangxian, WANG Bo, SUN Jiayao, LU Duanmin

(Aviation Manufacturing College, Zhangjiajie Institute of Aeronautical Engineering, Zhangjiajie 427000, China)

Abstract: Under the condition of stimulating real work circumstances, the structure, mechanical properties and impact wear resistance of ZGMn18Cr2 high manganese steel under different impacts were studied by means of metallographic and scanning electron microscopes. The results show that the slip band density of high manganese steel increases with increasing impact. The maximum hardness is 448, 478 and 545 HV, and the depth of the hardened layer is 0.19, 0.29 and 0.7 mm, respectively, which gradually improves the hardening effect. Under the circumstance of the stimulated condition, when the impact value reaches 3 J, the capacity of work hardening of high manganese steel takes full play, and the wear weightlessness reduces to the lowest value, with shorter cutter marks and more furrow on the surface. Meanwhile, the wear mechanism is mainly cutting and plastic abrasive wearing.

Key words: high manganese steel; impact wear; wear mechanism

高锰钢作为耐磨材料,经水韧处理后得到单相 奥氏体。随着冲击载荷增加,奥氏体钢表面在高的 载荷作用下会发生加工硬化,使其硬度提高,同时 心部保持较好的塑性和韧性,表现出良好的耐冲击 和耐磨性能¹¹⁴¹,被广泛应用于矿山冶金、水利电力、 国防建材、能源化工等领域,20世纪五、六十年代我 国将之称作"万能耐磨材料"。然而,工业实践证明, 仅在强冲击和高强应力作用下,高锰钢的表面加工 硬化层才能较初始态具有显著提升;当冲击载荷较 小时,高锰钢的加工硬化性能难以发挥,从而影响 高锰钢工件的耐磨性能及其使用寿命^[59]。

- 基金项目:湖南省教育厅科研项目(18C1783,19C1881)
- 作者简介: 陈胜迁(1985—), 副教授. 研究方向:金属耐磨材料. 电话:15274423570, Email:dzsrschen@163.com 通讯作者:卢端敏(1964—), 副教授. 研究方向: 钢铁材料. 电话:13974496708, Email:694677377@qq.com

近年来,国内外学者对高锰钢使用性能进行了 研究。Majid 等^[10]对比分析了 Al 强化高锰钢与标准 高锰钢在高低应力下的磨损行为。结果表明,在低应 力条件下,含 Al 高锰钢比标准高锰钢具有更高的耐 磨性,但在高应力磨损条件下,标准高锰钢的耐磨性 比 Al 强化高锰钢好。Feng 等^[11]对高锰钢表面进行喷 丸处理,在其表面形成一层具有梯度的纳米晶层,高 锰钢的耐磨性显著提高。这些研究探索了提高高锰 钢耐磨性的方法,但有关冲击载荷对高锰钢在耐磨 性方面的研究仍太少。因此,本文通过对常用铸造高 锰钢在不同冲击功作用下的加工硬化效果与磨损性 能进行研究和探讨,并对比实际工况,分析其磨损机 理,为高锰钢材料的工业应用提供参考。

1 实验材料及方法

1.1 实验材料

实验用 ZGMn18Cr2 是以废钢、电解锰、硅铁、

收稿日期:2022-04-01

铬铁、纯铝(脱氧剂)等为原材料,在实验室采用中频 感应电炉熔炼铸造获得。浇铸前通过直读光谱仪测 定钢液成分,保证成分与设计一致,在水玻璃砂型 中浇铸成Y型试样。铸态试样经1100℃水韧处理 后得到实验材料。Y型试块和圆锥失效件均为 ZGMn18Cr2,其化学成分如表1所示。实际工况使 用后的试样为单缸液压圆锥破碎机圆锥失效件,其 破碎原料为花岗岩,成分主要为石英。工作时,花岗 岩石料从顶端进入料斗并持续添加,电动机通过传 动装置带动偏心套旋转,动锥在偏心轴套的带动下 做旋转摆动,物料由于重力作用进入动锥与定锥 间,受动锥与定锥的多次挤压和撞击而破碎。总体 而言,工作过程耐磨圆锥的服役环境具有高磨损与 强冲击的特点。

表1 实验材料化学成分 w/% Tab.1 Composition of the tested materials

元素	С	Si	Mn	Cr	Р	S	Fe
Y型试块	1.31	0.48	17.91	1.92	0.038	0.006	Bal.
圆锥失效件	1.32	0.59	18.17	1.93	0.038	0.010	Bal.

1.2 实验步骤和方法

在热处理后的Y型试块上,离试块表面 5 mm 的 有效使用位置采用线切割切取内径为 21 mm、外径 为 38 mm,厚度为 10 mm 的冲击磨损试样;纵截面 金相试样分别在实际使用和冲击磨损试验后的试样 上,垂直于磨损表面用线切割切取。冲击磨料磨损实 验在 MLD-10 型冲击磨损试验机上进行,上试样为 52 HRC 的合金钢,尺寸为 10 mm×10 mm×30 mm, 其固定于冲锤上,经偏心轮带动到达设定高度时, 随冲锤做自由落体运动,冲击下试样(试验材料),由 于下试样的转动,上、下试样接触时能产生一定的 切向相对运动。石英砂(粒径为 0.88~1.00 mm)磨料 覆盖住下试样,并在搅拌器的作用下不断进入磨损 界面。上试样冲击频率为 93 次/min,下试样转速为 200 r/min。

分别选用1、2、3J3个冲击功进行冲击磨料磨

损实验,先进行 10 min 预磨损,使上、下试样磨合, 再进行正式实验。每隔 30 min,拆卸下试样并在酒 精中超声清洗,干燥,再用 0.1 mg 的分析天平称重, 记录实验结果,更换新沙进行下一组实验。不同试样 取 3 组平行试样作为最终实验结果。

用 Carl Zeiss Gemini 300 型扫描电镜观察冲击 磨料磨损试样的表面磨损形貌,用线切割沿垂直于 磨面方向切取试样,用 Leica DMI 3000M 型金相显 微镜观察亚表层组织形貌,用 Zwick/Roell 显微硬 度计沿垂直于磨损表面方向进行内部硬度测试, 每个深度测 3 个值,取其平均值。



Fig.1 Schematic diagram of the working principle of the test machine

2 实验结果与分析

2.1 磨损特性分析

冲击功与 ZGMn18Cr2 磨损特征的关系如图 2 所示,从图 2(a)磨损失重随时间变化曲线可以看出, 在 3 种冲击功下,材料的累计磨损失重均随着时间 的延长而增加。本实验中,在相同的磨损时间内,材料的 磨损失重随着冲击功的增加,呈现下降趋势。在 3 J 冲击功的冲击磨损作用下,高锰钢平均失重率为 0.254 2 g/h;而在 1 J 冲击功的冲击磨损作用下,其 平均失重率达 0.586 6 g/h。图 2(b)为各冲击功下不 同时间段的失重率变化趋势,可以看出,1 J 和 2 J 冲 击功下,随着磨损时间的延长,其不同时间段的磨损



Fig.2 Wear resistance of ZGMn18Cr2 high manganese steel under different impacts

失重率呈下降趋势,且相邻时间段失重率的差值呈现递减趋势,而在3J冲击功作用下,仅在第1个0.5h内磨损失重率较高,从第2个0.5h开始失重率基本保持稳定。

2.2 组织及力学性能分析

ZGMn18Cr2 高锰钢经不同冲击功冲击磨料磨 损作用下垂直于磨损截面的亚表层金相组织,如图 3 所示。从图中可以看出,在冲击作用下,材料亚表 层均出现滑移带,且滑移带的数量与冲击功的大小呈 正相关。在1J冲击功下,仅在材料磨损面下约50µm 内,可见局部的尺寸较短的滑移带;当冲击功达2J 时,可在磨损面下约150μm内看到滑移带存在,并开 始出现交滑移;随着冲击功进一步提高到3J,可见 滑移带的范围增加到磨损面下约300μm以内,且 滑移带长度变长,密度增大,交滑移的数量也进一步 增加。从实际工况使用后的单缸液压圆锥破碎机圆 锥失效件纵截面亚表层金相组织可以看出,在放大 50倍(约600μm深)的金相组织中布满了高密度的 滑移带,且并没有完全包含滑移带的深度,高密度的 滑移带相互交叉、阻滞或截割,使高锰钢材料的加工 硬化得到较充分发挥。

ZGMn18Cr2 高锰钢经不同冲击功冲击磨料磨





损作用下垂直于磨损截面的硬度变化趋势,如图 4 所示。维氏硬度测试是在加载力为 0.49 N、保载时间 为 10 s 的条件下,从材料磨损表层每隔一定距离沿 纵截面往里测试。从图中可以看出,经过冲击磨料 磨损后,高锰钢均有一定的加工硬化,同时加工硬化 程度和硬化层深度与冲击功的大小有紧密的联系。



图 4 不同冲击功下高锰钢厚度方向的硬度曲线 Fig.4 Hardness of the ZGMn18Cr2 high manganese steel in thethickness direction under different impacts

从亚表层的最高硬度分析,1、2、3 J 冲击功下材料测 试所得的最高硬度分别为 448、478、545 HV,可见随 着冲击功的增加,高锰钢的加工硬化行为更加显著; 从硬化层深度分析,1、2、3 J 冲击功下材料测试所得 的硬化层深度分别为 0.19、0.29、0.7 mm,体现出了 与最高硬度相同的规律。相较于实际使用工况下的 耐磨圆锥,3 J 冲击功下,高锰钢的最高硬度基本与 实际使用工况下的最高硬度相当,但实际使用工况 下的高锰钢硬化层深度约为 2.8 mm,较实验室环境 下的测试结果有很大提高。

2.3 磨损形貌分析

在冲击磨粒磨损试验过程中,试验试样受到上试 样的冲击作用、上试样与下试样接触过程中接触磨损 以及磨粒对试样三体磨损的综合作用。ZGMn18Cr2 高锰钢经不同冲击功冲击磨料磨损作用下的损伤 表面扫描形貌如图 5 所示。从图中可以观察到,不 同冲击功作用下的损伤表面均呈现高应力磨粒磨损





状态下的微观形貌,磨损表面存在大量的切削划痕、 犁沟、犁皱,局部位置有剥落。

切削磨损是由于具有尖锐棱角的高硬度石英砂 在上试样法向冲击载荷的作用下,局部被压入金属 表面后,在切向力作用下磨粒向前推进,而材料被推 移到磨料运动路径的两侧或前方,从而形成犁沟与 犁皱的一种磨损形式^[12]。当材料硬度较低时,硬的磨 粒在摩擦过程中与材料表面做相对切向运动,使材 料表面产生剪切并剥落,构成典型的切削磨料磨损^[13]。 这些变形堆积的材料在受到随后的冲击磨损时,被 重新压平,或者使已变形的材料再次产生犁沟和犁 皱变形。如此反复的塑变,使材料受到剧烈的塑性损 伤,不足以承受外力,很容易在其他磨料的作用下被 磨掉剥落,表现为多次塑变导致剥落的磨损机理^[14]。

对比1J和3J冲击功作用下的磨损表面发现, 在1J冲击功作用下,磨损表面有石英砂磨粒压入, 存在犁沟、犁皱,切削划痕长,切削痕迹明显,塑性损 伤严重的部位存在较大的剥落坑。在3J冲击功作 用下,材料的损伤表面以较短的切削划痕和较多的 犁沟、犁皱为主。

综上所述,冲击功的大小对ZGMn18Cr2 高锰钢的 组织与性能影响显著,其最主要的作用是对高锰钢 加工硬化的影响,而加工硬化率和加工硬化深度又 直接影响材料的磨损性能和表层磨损形貌。从图 4 不同冲击功下的硬度数据可以看出,在1J和2J冲 击功作用下无法充分发挥材料的加工硬化能力,而 当冲击功达到3J后,其亚表层的最高硬度方能与 实际应用工况下的耐磨圆锥的加工硬化最高硬度相 当;同时,在1J和2J冲击功下,加工硬化层厚度 薄,结合1J冲击功下磨损后的表面损伤形貌,以长 程的切削磨损为主,说明不足以对该种工况下的冲 击磨粒磨损进行有效抵抗;当冲击功达到3J后,高 锰钢的加工硬化效果得到了较为充分的发挥,在冲 击磨粒磨损的作用,由于表层硬度高,加工硬化层达 到了一定的厚度,相较于低冲击功的作用下,材料表 层的损伤以短程磨削为主,其抵抗磨损能力进一 步增强。从图2(b)中同一冲击功、不同时间段的磨 损失重率可看出,冲击功越低,ZGMn18Cr2高锰钢 达到稳定的加工硬化效果所需的时间越长。说明高 锰钢的加工硬化不仅受到冲击能量大小的影响,而 且与其受到的累积能量的影响有关,在冲击作用下,材 料亚表层位错不断增殖、运动,发生交割、缠结、塞积 等,从而逐步达到动态稳定加工硬化的效果^[15-16]。

3 结论

(1)随着冲击功的增加,ZGMn18Cr2高锰钢的 加工硬化效果逐渐显著,当冲击功达到3J时,其加 工硬化能力得到较充分的发挥。

(2)在1J的冲击功作用下,材料亚表层滑移带 密度低,深度浅;随着冲击功的增大,滑移带密度和 深度依次递增,当冲击功达到2J时,开始出现交滑 移现象。

(3)ZGMn18Cr2 高锰钢的磨损机理主要表现为 切削磨料磨损和多次塑性变形导致的剥落磨损,且 随着冲击功的增加和磨损时间的增长,材料的耐磨 优势更加明显。

参考文献:

- [1] 王凯. 中碳高锰钢塑性变形后组织及力学性能研究[D]. 秦皇岛: 燕山大学,2021.
- [2] 魏世忠,徐流杰.钢铁耐磨材料研究进展[J]. 金属学报,2020,56 (4): 523-538.
- [3] 杨壹,郑志斌,叶志国,等.轻质高锰钢的组织及力学性能[J].钢 铁研究学报,2021,33(11):1189-1197.
- [4] 何扬,王于金,秦芳诚,等.水韧处理对消失模铸造棒磨机衬板
 组织与性能的影响[J].特种铸造及有色合金,2021,41(4):490-494.
- [5] 杨小禹,李笑笑,徐长静.高压时效处理对耐磨高锰钢组织与力 学性能的影响[J]. 热加工工艺,2022,11(22):134-136,141.
- [6] 张福全,邵飞杰,周惦武. Mn13Cr2高锰钢冲击磨损机制的研究[J]. 湖南大学学报(自然学科),2014,41(12): 6-10.
- [7] 庞晓琛. 热处理工艺对合金化高锰钢组织及性能的影响[J]. 热加 工工艺, 2019, 48(2): 224-226.
- [8] 彭世广. 圆锥破碎机衬板用轻质耐磨钢的制备工艺及磨损机理研究[D]. 北京:北京科技大学,2017.
- [9] 刘越,魏顺华,臧勐超,等.轻质高锰钢微观组织及耐磨性能研

究[J]. 摩擦学学报, 2018, 38(3): 291-298.

- [10] ABBASI M, KHEIRAN DISH S, KHARRAZI Y, et al. On the comparison of the abrasive wear behavior of aluminum alloyed and standard hadfield steels[J]. Wear, 2010, 268(1-2): 202-207.
- [11] FENG X Y, ZHANG F C, YANG Z N, et al. Wear behaviour of nanocrystallised Hadfield steel[J]. Wear, 2013, 305(1-2): 299-304.
- [12] 黄勇,龙骏,郑志斌,等.圆锥破碎机用高锰钢圆锥的失效分析[J].铸造技术,2019,40(7):744-747.
- [13] 宁嘉沛,郑开宏,周宏明,等.高碳中铬耐磨合金钢热处理后的 组织及磨料磨损性能[J].铸造,2020,69(2):135-141.
- [14] LARSEN-BASSE J, PREMARATNE B. Effect of relative hardness on transitions in abrasive wear mechanisms [M]//LUDEMA K C. Wear of Materials. New York: ASME, 1983: 161-166.
- [15] 王涛,胡锋,张志成,等.不同冲击载荷下 10Mn 钢和 NM500 的 磨损性能及机理[J]. 中国冶金,2021,31(12):47-54,60.
- [16] GE S R, WANG Q L, WANG J X. The impact wear-resistance enhancement mechanism of medium manganese steel and its applications in mining machines[J]. Wear, 2017, (376-377): 1097-1104.