DOI:10.16410/j.issn1000-8365.2019.11.005

# H400 和 NM400 低合金钢耐磨性能研究

韩　嫔[1],张绪平[2],林　波[2]
(1. 徐工集团 铲运机械事业部技术中心,江苏 徐州 221000;2. 中国矿业大学 材料科学与工程学院,江苏 徐州 221116)

**摘　要**:通过滑动磨损与冲击磨损试验,研究 H400 和 NM400 两种低合金耐磨钢的耐磨性,结合冲击试验机、扫描电子显微镜和金相显微镜等实验仪器,分析两种材料的磨损形貌、冲击韧度和金相组织。结果表明,H400 和 NM400 表面组织均为马氏体,但 NM400 板条状马氏体较多;在滑动磨损试验条件下,NM400 磨损失重较低,表现出较好的耐磨性。冲击磨损试验条件下,NM400 和 H400 失重量相差不大,二者具有几乎相同的耐磨性。无论是 H400 还是 NM400,在滑动磨损试验条件下,失重量均是冲击磨损试验条件下的 2~3 倍。

**关键词**:低合金耐磨钢;滑动磨损形貌;冲击磨损形貌;金相组织

**中图分类号**:TG115　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1000-8365(2019)11-1153-03

## Study on Wear Resistance of H400 and NM400 Low Alloy Steel

HAN Pin[1], ZHANG Xuping[2], LIN Bo[2]
(1. Technical Center of Scraper Machinery Division, XCMG, Xuzhou 221000, China; 2. School of Materials Science and Engineering, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221116, China)

**Abstract**: The wear resistance of H400 and NM400 low alloy steels were studied through sliding wear and impact wear tests. The wear morphology, impact toughness and metallographic microstructure of the two materials were analyzed by means of impact testing machine, scanning electron microscope (SEM) and metallographic microscope. The results show that the surface microstructure of H400 and NM400 is martensite, but NM400 has more strip martensite. Under the condition of sliding wear test, NM400 has low wear weight loss and better wear resistance. Under the impact wear test condition, the weight loss of NM400 and H400 is not much different, and they have almost the same wear resistance. Both H400 and NM400 lost 2~3 times as much weight under sliding wear test as under impact wear test.

**Key words**: low alloy wear-resisting steel; sliding wear morphology; impact wear morphology; microstructure

装载机是一种铲运物料的工程设备,其工作装置铲斗是实现其功能的关键部件,铲斗上的斗齿组件是一组消耗件,由于装载机的应用工况复杂,其斗齿的失效频率远高于一般的挖掘机[1,2]。断裂、磨损、腐蚀和老化等形式是工件失效的主要形式,磨损是最常见的失效情况之一,因此该零部件主要采用特种耐磨钢制造[3]。低合金耐磨钢因强度硬度高,焊接性能好等优点,被广泛应用于矿山、冶金机械制造等一些特殊工况[4]。目前,国内开发和生产耐磨钢的技术发展较快,但是对于及其复杂工况下服役需求的高品质高性能耐磨钢还要依靠进口[5]。国内生产的耐磨钢产品在强度和性能上均与国外优质产品有较大的差距,尤其是在实际使用过程中的性能稳定性方面,冲击韧度不足是软肋,脆性剥落和断裂等早期失效可能会发生在稳定磨损阶段[6]。本文主要研究两种工业应用中常用的耐磨钢 H400 和 NM400 的滑动磨损与冲击磨损性能及其微观形貌和金相组织,分析影响磨损失效的主要因素,为低合金耐磨钢的研究与应用提供基础。

## 1　试验材料与方法

试验所用材料为 H400 和 NM400。将两种耐磨钢分别切割取样,制作滑动磨损试样、冲击磨损试样和金相试样,分别对其进行特定性能测试与分析,测试结果取平均值。采用 M-2000 型磨损试验机测试滑动磨损失重。选用轴承钢(GCr15)钢环作为摩擦配副钢环,直径 50 mm,钢环转速 200 r/min,实验载荷为 600 N,磨损时间为 4 h。加砂进行磨损,砂粒大小为 120~150 目,石英砂流量为 2 kg·h$^{-1}$。采用冲击磨损试验机测试冲击磨损失重,选用轴承钢(GCr15)钢环作为摩擦配副钢环,直径 50 mm,转速200 r/min,实验冲击功 2.5 J,冲击时间为 4 h,约 12 000 次。加砂进行磨损,砂粒大小 8~12 目。用扫描电子显微镜观察滑动磨损和冲击磨损试样的表面组

收稿日期:2019-06-24
作者简介:韩　嫔(1975- ),女,江苏徐州人,高级工程师.主要从事金属材料性能应用研究方面的工作.
电话:13775982958,E-mail: 525220885@qq.com

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

织形貌。将切割好的两种试样分别进行研磨、抛光、4%硝酸酒精腐蚀后用金相显微镜观察显微组织。

## 2 试验结果及分析

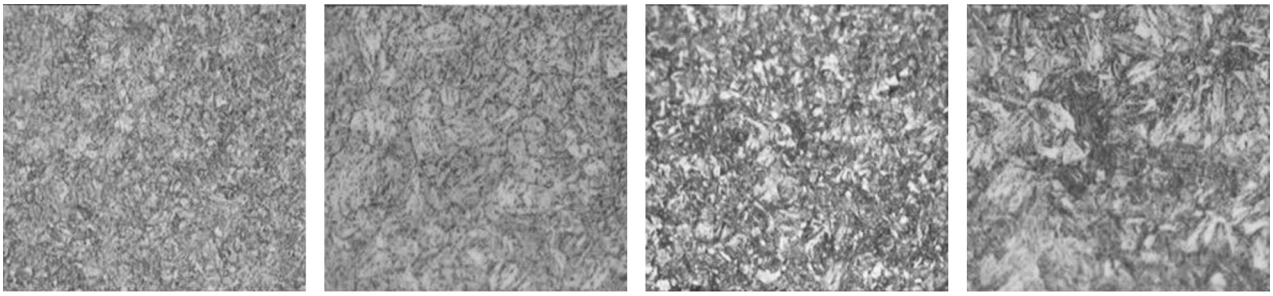
### 2.1 成分及组织分析

H400 和 NM400 耐磨钢的化学成分 $w$(%)分别为：C≤0.20、Si≤0.50、Mn≤1.4、S≤0.025、P≤0.025 和 C≤0.25、Si≤0.7、Mn≤1.6、S≤0.025、P≤0.010、Cr≤1.4、Mo≤0.5、Ni≤1.0。图 1 为 H400 和 NM400 的金相组织。可以看出，H400 的金相组织为针棒状马氏体，强度高，但塑韧性差。NM400 组织为混合马氏体，且板条状马氏体较多，该试样组织比较均匀，晶粒尺寸差异亦不显著，不但具有很高的强度而且具有良好的塑性和韧性，同时还具有低的脆性转变温度，其缺口敏感性和过载敏感性都较低。

### 2.2 滑动磨损分析

图 2 为 H400 和 NM400 滑动磨损前后试样失重的算数平均值柱状图。可以看出，在滑动磨损条件下，NM400 磨损失重较低，表现出较好的耐磨性。

图 3 为 H400 和 NM400 的滑动磨损微观形貌。



(a)H400 ×200　(b)H400 ×500　(c)NM400 ×200　(b)NM400 ×500

图 1 H400 和 NM400 的金相组织

Fig.1 Microstructure of H400 and NM400 steel

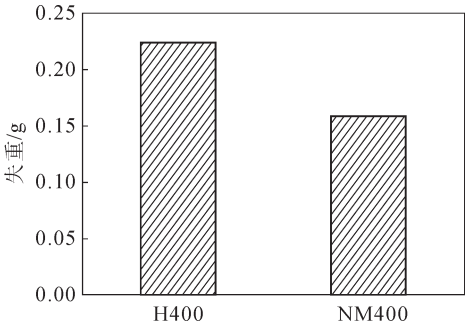


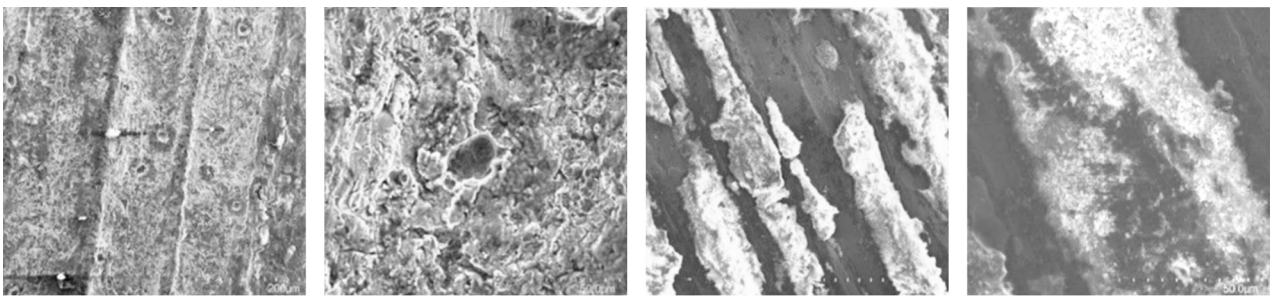

图 2 滑动磨损失重柱状图

Fig.2 Histogram of sliding wear loss

可以看出，H400 表面有沟槽状的磨痕且部分区域有疲劳辉纹，为磨粒磨损和疲劳磨损，在表面有塑性变形层，磨损较严重。NM400 的滑动磨损微观形貌表面有明显的犁皱，主要为磨粒磨损，且磨损较轻微。当发生滑动磨损时，耐磨钢磨损主要发生的是微观切削行为。滑动摩擦初期，耐磨钢表层由于凸起的硬质点犁皱作用而对表面材料产生塑性剪切，从而形成磨粒。磨料则被法向载荷压入摩擦表面，在滑动时摩擦表面受到切向力而产生犁沟作用，在摩擦表面受到切削、犁皱或剪切，从而形成沟槽状的磨痕。而在法向力的作用下，磨料使磨损表面受到挤压，表层材料产生显著的塑性变形。在磨粒的不断挤压下，接触应力达到并超过材料的强度极限时，表面应力较大的局部区域会优先萌生微裂纹。在高应力的循环作用下，局部塑性变形加剧，继而形成疲劳辉纹，迅速扩张的裂纹导致部分区域发生片层状的剥落，不断累积磨损量[7]。

### 2.3 冲击磨损分析

图 4 为 H400 和 NM400 冲击磨损前后试样失重的算数平均值柱状图。可以看出，冲击磨损试验条件下，NM400 和很 H400 失重量相差不大，说明二者具有几乎相同的耐磨性。与图 2 相比，H400 和



(a)H400(低倍)　(b)H400(高倍)　(c)NM400(低倍)　(d)NM400(高倍)

图 3 H400 和 NM400 滑动磨损形貌

Fig.3 Sliding wear images of H400 and NM400 steel

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

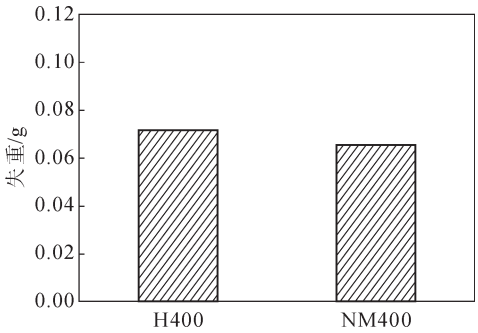



图 4 冲击磨损失重柱状图

Fig.4 Histogram of impact wear weight loss

NM400 其滑动磨损前后的失重量均是冲击磨损的 2~3 倍，二者均较适合于冲击磨损条件下使用。

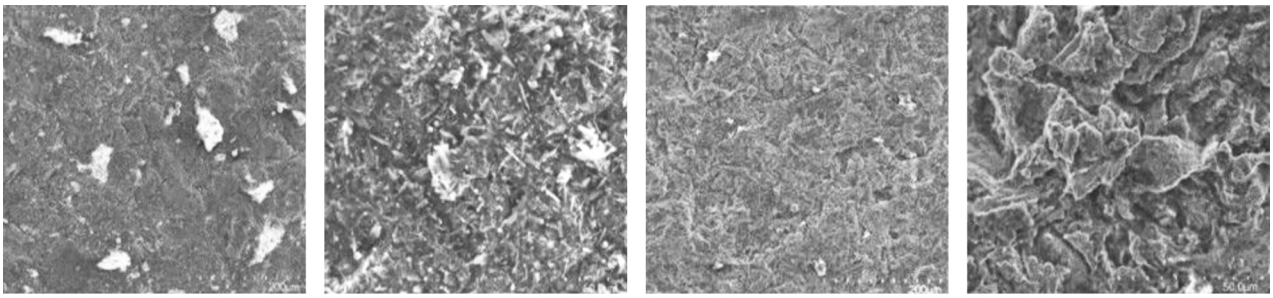
图 5 为 H400 和 NM400 的冲击磨损微观形貌。可以看出，H400 冲击磨损表面有较明显疲劳剥落，并伴有犁沟和切削痕。NM400 冲击磨损表面主要为犁沟切削和凿削坑。磨损试样表层均分布有颗粒状的磨屑，接触表层在承受高应力时局部产生脆化，经循环冲击破碎后形成磨屑。在冲击载荷的作用下，部分粘附在材料表层的磨屑会向亚表层延伸，最终表层裂纹会与亚表层裂纹交汇，从而产生片层状剥落。在冲击应力作用下，磨损表层一旦产生疲劳剥落，裂纹形成于扩展的速率便会快速增加，加剧冲击磨损，继而磨痕深度增大。

## 3　结论

（1）H400 和 NM400 均是低合金钢，而 H400 金相组织为针棒状马氏体，强度高，但塑韧性差，NM400 的组织中板条状马氏体较多，且比较均匀，晶粒尺寸差异不显著，不但具有很高的强度而且具有良好的塑性和韧性。

（2）在滑动磨损试验条件下，NM400 磨损失重较 H400 低，表现出较好的耐磨性，因此 NM400 较适用于滑动磨损的情况。冲击磨损试验条件下，NM400 和很 H400 失重量相差不大，说明二者具有几乎相同的耐磨性。

（3）无论是 H400 还是 NM400，在滑动磨损试验条件下，其磨损前后的失重量均是冲击磨损试验条件下的 2~3 倍，因此这两种材料较适合于冲击磨损条件下使用。



(a)H400(低倍)　(b)H400(高倍)　(c)NM400(低倍)　(d)NM400(高倍)

图 5 H400 和 NM400 试样冲击磨损形貌

Fig.5 Impact wear images of H400 and NM400 steel

**参考文献：**

[1] 文军，李毅，张东亚，等. 低合金耐磨钢摩擦磨损性能研究[J]. 工程机械, 2018, 49(12): 30-34.

[2] Deng X T, Wang Z D, Han Y, et al. Microstructure and abrasive wear behavior of medium carbon low alloy martensitic abrasion resistant steel [J]. Journal of Iron and Steel Research International, 2014, 21: 98-103.

[3] Cao Y, Wang Z D, Kang J. Effects of tempering temperature and Mo/Ni on microstructures and properties of lath martensitic wear-resistant steels[J]. Journal of Iron and Steel Research International, 2013, 20: 70-75.

[4] 孔令超. 铝合金低压铸造过程的模拟[J]. 铸造技术, 2015，36(6): 1513-1517.

[5] 段港. 低合金高强度耐磨钢的组织与性能研究 [J]. 中国金属通报, 2018(3): 67-68.

[6] 闫华，谢敬佩，王文淼，等. 超高锰钢耐磨性及其冲击磨料磨损行为的研究[J]. 铸造技术，2007, 28(5)：618-621, 627.

[7] 梁亮，邓想涛，吴开明，等. 低合金高强度耐磨钢的冲蚀磨损性能研究[J]. 轧钢, 2018, 35(1): 10-16.

欢迎到当地邮政局(所)订阅 2020 年《铸造技术》杂志

国内邮发代号：52-64　国外发行号：M855　国内定价：25 元/本　海外定价：25 美元/本

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net