

# 包钢稀土耐磨钢板 BTNM450 耐磨性能试验研究

袁晓鸣<sup>1,2</sup>, 岳祎楠<sup>1</sup>

- 内蒙古包钢钢联股份有限公司技术中心, 内蒙古 包头 014010;
- 内蒙古科技大学材料科学与工程学院, 内蒙古 包头 014010)

**摘要:** 文章选定包钢稀土耐磨钢板 BTNM450 和国外某厂家生产的 NM1<sup>#</sup> 耐磨钢板两种试验材料, 从显微组织、硬度、耐磨性能等方面进行对比分析。研究结果表明, 包钢稀土耐磨钢板 BTNM450 的磨损量为 0.390 0 g, 明显低于 NM1<sup>#</sup> 耐磨钢板的磨损量。与未添加稀土元素的耐磨钢板 BTNM450 - NORE 相比, 添加稀土元素后包钢稀土耐磨钢板 BTNM450 的磨损量降低 20.9%。NM1<sup>#</sup> 耐磨钢板截面上的硬度分布不均匀, 包钢稀土耐磨钢板 BTNM450 的硬度沿截面厚度方向的变化不明显, 具有优良的耐磨性能。

**关键词:** 耐磨钢板; 硬度; 显微组织; 磨粒磨损

中图分类号: TG142.72

文献标识码: B

文章编号: 1009-5438(2025)01-0001-03

## Experimental Study on Wear Resistance of Rare Earth Wear Resistant Steel Plate BTNM450 of Baotou Steel

Yuan Xiaoming<sup>1,2</sup>, Yue Yinan<sup>1</sup>

- Technical Center of Inner Mongolia Baotou Steel Union Co., Ltd., Baotou 014010, Inner Mongolia Autonomous Region, China;
- School of Materials Science and Engineering, Inner Mongolia University of Science and Technology, Baotou 014010, Inner Mongolia Autonomous Region, China)

**Abstract:** In this paper, such aspects as microstructure, hardness and wear resistance of rare earth wear resistant steel plate BTNM450 of Baotou Steel and NM1<sup>#</sup> wear resistant steel plate produced by a foreign manufacturer are selected to be compared and analyzed. The study results showed that the wear extent of rare earth wear resistant steel plate BTNM450 of Baotou Steel was 0.390 0 g, which was significantly fewer than that of NM1<sup>#</sup> wear resistant steel plate. Compared with the wear resistant steel plate BTNM450 - NORE without adding rare earth elements, the wear extent of rare earth wear resistant steel plate BTNM 450 of Baotou Steel after adding rare earth elements is reduced by 20.9%. The hardness distribution on section of NM1<sup>#</sup> wear resistant steel plate is not uniform and hardness of rare earth wear resistant steel plate BTNM450 of Baotou Steel does not change significantly along the direction of section thickness, which is with excellent wear resistance.

**Key words:** wear resistant steel plate; hardness; microstructure; abrasive wear

收稿日期: 2024-12-09

基金项目: 中央引导地方科技发展资金项目(2022ZY0035)。

作者简介: 袁晓鸣(1983-), 男, 内蒙古包头市人, 博士, 高级工程师, 现从事管线钢、耐磨钢等板材产品研发工作。

低合金高强度耐磨钢现在广泛应用在机械、冶金、矿山装备、铁路等领域,可以满足各种恶劣环境下工作要求,具有较高的耐磨性能、制造简单、生命周期等优点。磨损是金属材料最常见、最主要的损坏形式之一,磨损造成的经济损失也是相当惊人的<sup>[1-3]</sup>。磨损最常见的分类是基于磨损机制来分类,如磨料磨损、粘着磨损、疲劳磨损、侵蚀磨损和微动磨损等。耐磨金属材料的化学成分、力学性能、组织结构等都会影响材料的耐磨性能<sup>[4-5]</sup>。耐磨钢板行业普遍认为,磨料磨损与材料的表面硬度相关性很高,硬度甚至可以作为衡量耐磨钢板耐磨性能的主要依据。研究耐磨钢板的耐磨性能对于节能减排至关重要,对于减少材料消耗、节约能源、延长设备

寿命和材料改进等具有重要的意义。

## 1 试验材料与方法

### 1.1 试验材料

为了考察稀土元素 Ce 对耐磨钢板耐磨性能的影响,试验材料选择厚度规格为 45 mm 的耐磨钢板 BTNM450 和 BTNM450 - NORE,对比钢板为国外某厂家生产的 NM1<sup>#</sup> 耐磨钢板,具体化学成分如表 1 所示。由试验材料的化学分析结果可以看出,试验材料化学成分基本相同,其中耐磨钢板 BTNM450 中添加了 0.003% 的稀土元素,耐磨钢板 BTNM450 - NORE 和 NM1<sup>#</sup> 中没有添加稀土元素。

表 1 耐磨钢板化学成分(质量分数)

钢板	C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni	Mo	Ti	B	Nb	RE
BTNM450 - NORE	0.20	0.24	1.29	0.003	0.013	0.82	0.39	0.35	0.018	0.001 5	0.022	
BTNM450	0.20	0.25	1.29	0.003	0.014	0.83	0.39	0.35	0.018	0.001 4	0.021	0.003
NM1 <sup>#</sup>	0.20	0.24	1.31	0.002	0.011	0.82	0.40	0.35	0.020	0.001 4	0.022	

### 1.2 试验方法

耐磨钢板磨粒磨损试验采用湿式橡胶轮磨粒磨损试验方法,分别对耐磨钢板 BTNM450、BTNM450 - NORE 和 NM1<sup>#</sup> 进行耐磨性测试。

#### 1.2.1 湿式橡胶轮磨粒磨损试验

为了考察稀土耐磨钢板耐磨损特性,在某煤机厂分析测试中心进行了磨粒磨损试验。采用线切割设备在钢板厚度方向距表面 7 mm 位置切取并加工成尺寸为 57.0 mm × 25.5 mm × 7.0 mm 的样片进行磨粒磨损试验。本次试验在湿式橡胶轮磨粒磨损试验机上完成,摩擦介质为水、泥沙<sup>[6]</sup>,磨粒磨损试验设备见图 1。

在 ML - 100 型磨粒磨损试验机上进行耐磨性测试。试样在试验前需用酒精清洗并吹干,之后装夹在磨粒试验机上进行预磨,产生一个预制磨痕,以消除试样表面质量和受力不均带来的试验误差。经过预磨试样表面产生一个新鲜磨痕,预磨一直继续到橡胶轮转到 1 000 转自动停车为止,取下试样并清洗吹干后在 0.000 1 g 精度的天平上称重,此时测得的重量作为试样的原始重量。将试样再次安装到磨损试验机上,进行 1 000 转的正式磨损试验,正式磨损试验磨痕与预制磨痕在同一处,试验完毕取下试样并清洗吹干,在 0.000 1 g 精度的天平上进行称重,此时测得的重量作为试样的磨损后重量。试样失重等于试样的原始重量减去磨损后重量。

#### 1.2.2 硬度测试

钢板轧制面作为基准洛氏硬度测试位置,在钢板上表面至下表面的横截面上每隔 3 mm 进行洛氏硬度测试,每个测试位置打三个点并记录,最后绘制出沿钢板厚度方向的硬度梯度曲线。

## 2 试验结果

### 2.1 磨损量

包钢稀土耐磨钢板 BTNM450 与耐磨钢板 BTNM450 - NORE、NM1<sup>#</sup> 在相同试验周期下的磨损

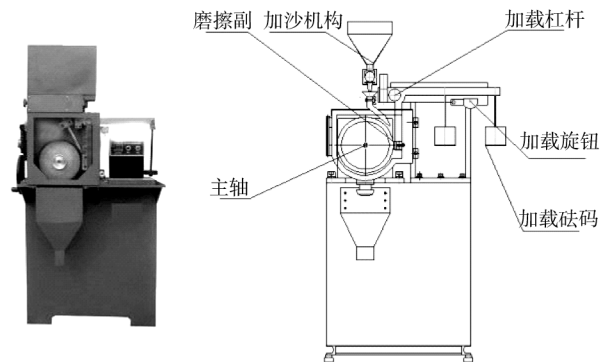


图 1 湿式橡胶轮磨粒磨损试验机

量对比结果如表2所示。

表2 湿式橡胶粒磨粒磨损试验结果

钢板	试样编号	试样磨损量/g	试样磨损量平均值/g
BTNM450	N1	0.359 7	0.390 0
	N2	0.364 1	
	N3	0.446 3	
BTNM450 - NORE	D1	0.423 7	0.493 0
	D2	0.472 7	
	D3	0.582 7	
NM1 <sup>#</sup>	H1	0.371 3	0.496 3
	H2	0.470 1	
	H3	0.647 6	

由表2可见,包钢稀土耐磨钢板 BTNM450 的平均磨损量为 0.390 0 g,明显低于耐磨钢板 NM1<sup>#</sup>的磨损量。与未添加稀土元素的耐磨钢板 BTNM450 - NORE 磨损量相比,添加稀土元素后磨损量降低 20.9%。

## 2.2 显微组织

包钢稀土耐磨钢板 BTNM450 与某国外厂家生产的耐磨钢板 NM1<sup>#</sup>不同厚度位置的显微组织见图2。

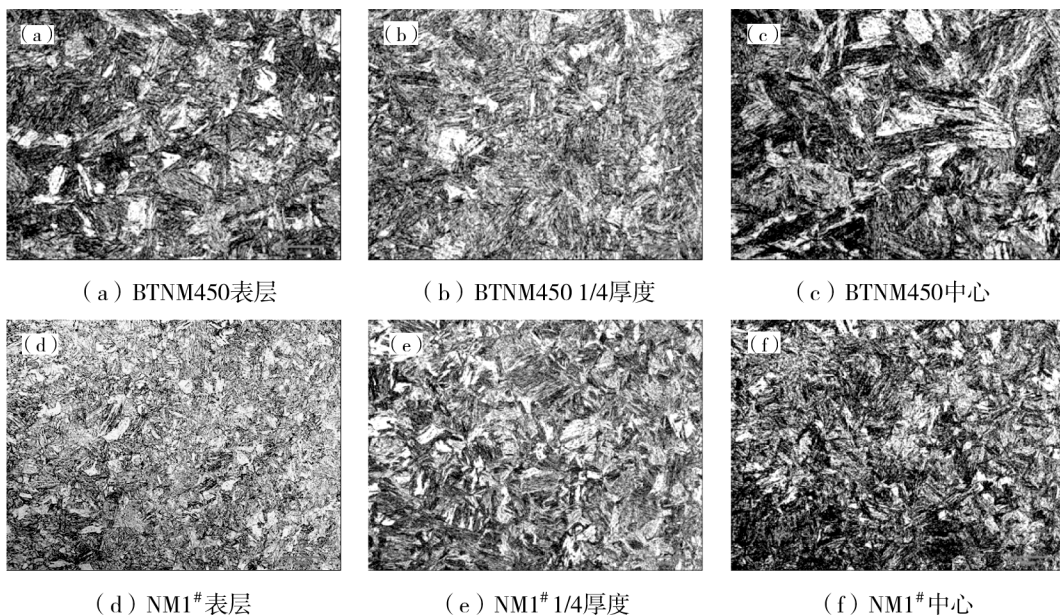


图2 耐磨钢板显微组织

由图2可以看出,包钢稀土耐磨钢板 BTNM450 在截面厚度方向上的显微组织变化不大,均为板条马氏体基体上混有少量的针状马氏体组织。耐磨钢板 NM1<sup>#</sup>近表面位置的显微组织为板条状马氏体 + 针状马氏体,距钢板表面 1/4 处和钢板厚度中心的显微组织为板条状马氏体 + 少量针状马氏体。

## 2.3 硬度

对包钢稀土耐磨钢板 BTNM450 与某国外厂家生产的耐磨钢板 NM1<sup>#</sup>沿厚度方向进行硬度测试,对比结果列于表3。

硬度测试结果表明,包钢稀土耐磨钢板 BTNM450硬度沿截面厚度方向变化不明显,这一结果与厚度截面显微组织相对应。某国外厂家生产的耐磨钢板 NM1<sup>#</sup> 截面上的硬度分布不均匀,表层硬

度最高,次表层(表面以下 3 mm 处)的硬度最低。

表3 硬度测试结果

钢板	深度/mm	硬度(HRC)			
		测量值		平均值	
BTNM450	0	43.2	42.6	42.0	42.6
	3	42.2	42.5	42.0	42.2
	6	43.5	44.2	44.1	43.9
	9	41.0	41.8	42.3	41.7
NM1 <sup>#</sup>	0	47.5	47.0	47.5	47.3
	3	40.9	40.5	41.2	40.9
	6	44.5	45.5	45.0	45.0
	9	44.3	44.5	44.0	44.3

(下转第28页)

表 9 烧结配加印度粉矿后烧结矿冶金性能变化

编号	软融性能/°C						RDI <sub>-6.3 mm</sub> /%	RI /%
	T <sub>40</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>40</sub> - T <sub>4</sub>	T <sub>S</sub>	T <sub>D</sub>	T <sub>D</sub> - T <sub>S</sub>		
YM - JZ	1 282	1 147	135	1 480	1 299	181	24.1	78.9
YM - 5	1 285	1 162	123	1 547	1 308	239	25.0	77.9
YG - JZ	1 287	1 145	142	1 540	1 305	235	25.3	78.8
YG - 6	1 284	1 145	139	1 510	1 288	222	25.6	77.6
YG - 12	1 299	1 156	143	1 507	1 304	203	26.4	77.1

由表 9 可知,印度粉矿替代蒙古粉矿和高硅巴粗用于烧结工艺后,烧结矿还原性降低,低温还原粉化指数升高。

### 3 结论

(1)印度粉矿替代蒙古粉矿和高硅巴粗用于烧结工艺后,可以取消蛇纹石配加,但会导致烧结矿 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 含量升高。

(2)印度粉矿替代蒙古粉矿和高硅巴粗的烧结杯试验表明,配加印度粉矿后,烧结矿的成品率、利用系数降低,固体燃耗升高,烧结矿平均粒径有下降

的趋势。考虑烧结矿冶金性能,建议烧结印度粉矿配加比例不易超过 6%。

### 参 考 文 献

- [1] 程国彪. 大比例配用进口粉矿的烧结试验及生产[J]. 烧结球团, 2004, 29(1): 8 - 11.
- [2] 李洪革. 印度粉烧结试验研究与应用[J]. 钢铁, 2010, 45(4): 14 - 15.
- [3] 刘月芳. 唐山不锈钢公司烧结配加印度粉的生产实践[J]. 河北冶金, 2010(5): 24 - 26.

(上接第 3 页)

综上所述,包钢生产的稀土耐磨钢板 BTNM450 具有优良的耐磨性能。

### 3 结论

(1)包钢稀土耐磨钢板 BTNM450 磨损量为 0.390 0 g,明显低于耐磨钢板 NM1<sup>#</sup>的磨损量。与未添加稀土元素的耐磨钢板 BTNM450 - NORE 相比,添加稀土元素后包钢稀土耐磨钢板 BTNM450 的磨损量降低 20.9%。

(2)耐磨钢板 NM1<sup>#</sup>截面上的硬度分布不均匀,包钢稀土耐磨钢板 BTNM450 的硬度沿截面厚度方向的变化不明显,具有优良的耐磨损性能。

### 参 考 文 献

- [1] 刘军刚,袁林,王玮,等. 耐磨钢板生产研究现

- 状与分析[J]. 山东冶金, 2011, 33(2): 7 - 9.
- [2] 宋红宇,李灿明,周平,等. 低成本 NM400 高强低合金耐磨钢的开发[J]. 轧钢, 2012, 29(4): 1 - 3.
- [3] 张宇斌,秦洁. 高强度耐磨钢板的生产现状及发展[J]. 世界钢铁, 2009, 9(6): 23 - 26.
- [4] 董娜,徐永新,杨晓. 淬火温度对工程机械用低合金耐磨钢板组织与力学性能的影响[J]. 热加工工艺, 2020, 49(22): 123 - 125.
- [5] 于庆波,孙莹,倪宏昕,等. 不同类型的贝氏体组织对低碳钢力学性能的影响[J]. 机械工程学报, 2009, 45(12): 284 - 288.
- [6] JB/T 7705—1995, 松散磨粒磨料磨损试验方法 橡胶轮法[S].