矿用卡车车厢用 NM450F 稀土耐磨钢板焊接工艺研究

宫继成,李来平,郭彩光,陈鹏彪,刘宝林

(内蒙古北方重型汽车股份有限公司产品研究院,内蒙古 包头 014030)

摘 要:文章选定包钢稀土耐磨钢 NM450F 进行焊接试验研究,选配林肯低合金钢焊丝焊接。焊接表面平整,表面质量检测 100% 符合 ISO 标准,磁粉探伤质量Ⅰ级。焊缝内部探伤质量达Ⅰ级,没有未焊透和未融合现象。说明焊接表面质量和内部质量均比较优异。焊接接头抗拉强度大于 780 MPa, -60 ℃冲击功平均值焊缝区大于 95 J、热影响区大于 160 J,说明 NM450F 钢板焊缝的力学性能满足车厢在 -60 ℃低温工况条件下的使用要求。通过试验的热输入量、预热温度、层间温度焊接参数、力学性能以及硬度值的检测结果,可以看出,NM450F 材料在常规的焊接工艺参数条件下,就可以获得良好的焊接质量和焊接工艺性能。

关键词:NM450F;焊接材料;焊接工艺

中图分类号:TG142 **文献标识码:**B **文章编号:**1009 - 5438(2025)06 - 0040 - 04

Research on Welding Process of NM450F Rare Earth Wear Resistant Steel Plate for Carriage of Mining Truck

Gong Jicheng, Li Laiping, Guo Caiguang, Chen Pengbiao, Liu Baolin

(*Product Research Institute of Inner Mongolia North Hauler Co., Ltd., Baotou* 014030, *Inner Mongolia Autonomous Region, China*)

Abstract: In this paper, the rare earth wear resistant steel NM450F of Baotou Steel is selected to carry out the experimental study of welding and Lincoln low alloy steel welding wire is selected to weld. The welding surface is smooth, surface quality inspection could 100% meet the ISO standard and flaw detection quality of magnetic powder is grade I. The internal flaw detection quality of weld seam could reach grade I as well as there are not such phenomena as incomplete penetration and fusion, which indicates that the surface quality and internal quality of welding are both excellent. The tensile strength of welded joints is greater than 780 MPa, average impact energy at -60 ℃ is greater than 95 J in weld zone and greater than 160 J in heat affected zone, which indicate that the mechanical properties of weld seam for NM450F steel plate could meet the operating requirements of carriage at low temperature working conditions of -60 ℃. The test results of heat input quantity, preheating temperature, welding parameters of interlayer temperature, mechanical properties and hardness values showed that NM450F material could be with good welding quality and welding technological properties under the condition of conventional welding parameters.

Key words: NM450F; welding material; welding process

收稿日期:2025 - 01 - 10

基金项目:中央引导地方科技发展资金项目(2022ZY0035)。

作者简介:宫继成(1978 -),男,内蒙古包头市人,硕士,正高级工程师,现从事结构设计与优化工作。

随着采矿业的快速发展,非公路矿用卡车在低温环境下进行作业的场景越来越多,有时甚至需要在 -60 ℃的低温环境下作业,这对矿用车车厢提出了更高的性能要求[1,2]。矿用车车厢用耐磨钢需要具备轻量化、易焊接、低温韧性等方面的综合性能[3,4]。

包钢为某大型电动矿用卡车车厢定制开发了 NM450F 耐磨钢,各项性能表现优异,满足电动矿用车车厢用材料的要求,试用效果良好。本文采用林肯低合金钢焊丝作为试验焊材,评定 NM450F 耐磨钢的焊接性能。

1　试验方案

1.1　试验材料

包钢为某大型矿用车定制生产的高性能车厢用 NM450F 低温耐磨钢板的力学性能要求,见表 1。包钢 NM450F 耐磨钢板具有较低的碳当量,其横向、纵向力学性能优异, -60 ℃下低温冲击韧性好,钢板板型平整无瓢曲。

表 1　力学性能

牌号	厚度 /mm	屈服强度 /MPa	抗拉强度 /MPa	断后延伸率 A_{50}/%	布氏硬度 HB	冲击试验		冷弯(90°, $d=3a$)
						温度 ℃	冲击吸收功 KV_2/J	
NM450F	10 ~ 30	≥1 200	≥1 450	横向≥15 纵向≥20	表面 420 ~ 480	-60	横向≥30 纵向≥35	横向/完好 纵向/完好

图 1 为采用 NM450F 耐磨钢板制造的某大型矿用车车厢示意图。钢板的焊接性能评定,在保证焊接质量和焊接效率的前提下,需要确定适宜的焊材和焊接工艺,并制定 NM450F 耐磨钢板焊接工艺规范。

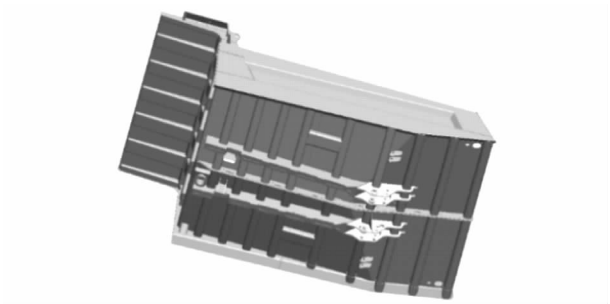


图 1　矿用自卸车车厢示意图

焊接试验选用 AWS ER100S - 6 林肯低合金钢焊丝,这种锰硅合金化实芯焊丝具有优良的综合力学性能,能够保证高速和远距离送丝,在高焊接电流下能够保持电弧稳定,焊花飞溅少,焊缝平滑美观。焊丝具体性能详见表 2。

表 2　焊丝力学性能

焊丝牌号	屈服强度 /MPa	抗拉强度 /MPa	延伸率 /%	-51 ℃冲击功 /J
林肯	620	740	25	106 J

1.2　试验内容

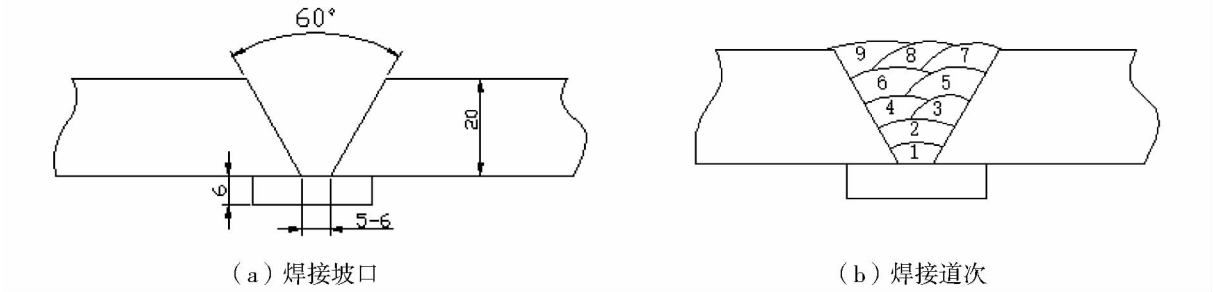
焊接母材 NM450F 耐磨钢板规格为 20 mm × 450 mm × 175 mm,焊材选用 Φ1.1 mm 林肯低合金钢焊丝,焊接设备为 LINCOLIN DC600 型号焊机,如图 2 所示。焊接试验采用富氩气体(88% Ar + 9% CO_2 + 3% O_2)保护焊(MAG)方法。



图 2　LINCOLIN DC600 型焊机

1.2.1　试验准备

试验选用母板对接接头类型,通过机械加工制作焊接坡口,充分清理和消除坡口的毛刺等缺陷。焊接坡口、层数和道次如图 3 所示。焊接时焊道为 9 层,焊接电流参数为直流反接,电流强度为 280 ~ 300 A,电弧电压为 28 ~ 30 V,焊接速度为 6.0 ~ 7.0 mm/s,热输入量不大于 1.4 kJ/mm。焊接前预热温度为 100 ~ 150 ℃,层间温度为 100 ~ 150 ℃,焊丝干伸长度为 15 ~ 20 mm,焊接时采用衬垫保护措施进行焊接辅助。



（a）焊接坡口 （b）焊接道次

图 3 焊接坡口和道次

1.2.2 试验检测内容

焊接试件完成 48 小时后，按照 ISO 15614《金属材料焊接工艺评定试验第一部分：钢的弧焊》焊接试验内容，对焊缝各项指标进行评定。首先进行了焊接部位的外观质量检测，依据标准 ISO 17637《焊缝无损检测 熔化焊接头目视检测》进行了 100% 焊缝外观检测。为进一步确定焊接部位的表面及近表面的缺陷，按照 ISO 17638《焊缝的无损检验. 磁粒子检验》对焊接部位进行磁粉探伤检测。为评价焊接部位的内部质量，按照 ISO 17636《焊缝的无损检测 放射线检验》，对焊接部位进行射线探伤检测。

对焊接部位进行拉伸性能测试，测试材料的屈服、抗拉和延伸率，执行标准 ISO 4136《金属材料焊缝的破坏性试验横向拉伸试验》。对焊缝区和热影响区进行低温冲击性能的测试评价，焊缝区和热影响区各测试三个，测试标准 ISO 9016《金属材料焊缝的破坏性试验. 冲击试验. 试件位置、缺口方向和检验》。测试焊接部位维氏硬度，执行标准 ISO 9015 - 1《金属材料焊接的破坏性试验 硬度试验 第 1 部分：弧焊接头的硬度试验》。通过金相检测对材料的内部组织结构进行评价，执行标准 ISO 17639《金属材料焊缝的破坏性试验 - 焊缝宏观和微观检验》。

2 焊接评定结果

2.1 焊接质量

外观检测按照标准要求对裂纹、火口裂纹、表面缩孔、末端焊口、熔接不足等各个项目进行了外观检测。焊缝外观检查中未发现引弧不良、电弧不稳定导致的不平整和熔深异常现象，焊缝表面平整，无气孔和裂纹现象存在。焊缝均匀，填充适度，无焊瘤和过填充，焊接过程平稳无飞溅，外观检测结果 100% 合格，焊缝外观如图 4 所示。采用磁粉探伤检测工件表面及近表面的缺陷，尤其是表面和近表面是否存在微小的焊接裂纹。检测结果良好，焊接表面质量达到 I 级。

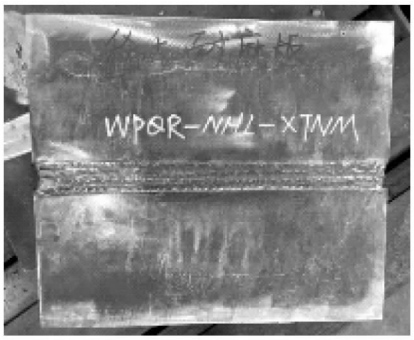


图 4 焊接外观

为检测焊接部位的内部质量，对焊接部位进行了射线探伤，即采用 X 射线穿透焊接材料检测焊接部位的内部缺陷。射线探伤检测显示焊接部位的内部质量优良，未发现内部有超标缺陷，质量评定为 I 级。焊接断面宏观金相如图 5 所示，观察断面焊缝金属区是否有融合缺陷、未焊透和未融合的内部缺陷。经检测未发现未焊透和未融合现象，按照标准评定合格。

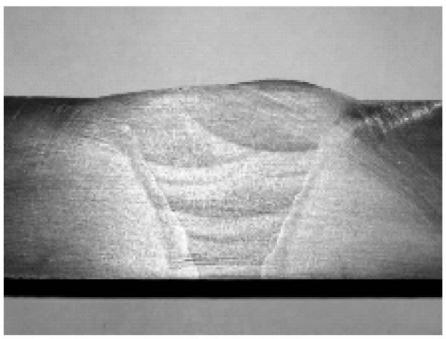


图 5 焊缝截面宏观金相

2.2　焊接性能

对焊接部位进行了拉伸、低温冲击和维氏硬度的力学性能测试，拉伸和冲击测试结果如表 3 所示，维氏硬度测试位置和结果如图 6 和表 4 所示。焊接接头拉伸性能测试中，抗拉强度为 785 MPa、790 MPa，大于 740 MPa 的焊丝抗拉强度值，性能合格。焊缝区 -60 ℃低温冲击平均值 96.7 J，热影响区 -60 ℃低温冲击平均值 160.9 J，均大于 35 J 的母材低温冲击值，性能合格。对焊缝区、热影响区、母材区的维氏硬度进行，测试结果表明，各区域的硬度分布均匀，无异常高硬度点，说明焊接各区域均无淬硬倾向，测试结果合格。

表 3　焊接试件力学性能测试

抗拉强度/Mpa		-60 ℃冲击功/J	
1	2	焊缝区	热影响区
785	790	96.7	160.9

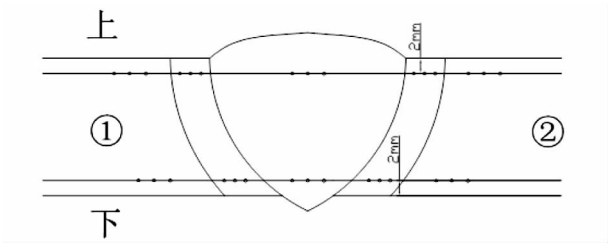


图 6　硬度测试位置

表 4　NM450F 焊接硬度检测结果

测试位置	相邻母材区域(PM)		热影响区(HAZ)		焊缝(WM)
	1 区	2 区	1 区	2 区	
上	463 469 465	471 474 469	429 431 433	419 425 426	356 357 360
下	460 465 464	475 490 481	347 352 355	294 300 314	343 355 346

3　讨论与分析

NM450F 为高强度、高硬度、-60 ℃低温环境矿车用新型耐磨钢，用于制造低温环境用矿车的车厢，焊接性能是影响加工制造的重要因素，焊接质量对车厢质量至关重要，而焊接效率对于车厢制造成本和生产周期具有决定性的影响。

本次焊接试验按照 NM450F 母材性能采用 AWS ER100S-6 林肯低合金钢焊丝，采用富氩气体保护焊(MAG)，选择常用焊接参数进行焊接。焊接质量检测显示焊接外观质量优良，外部探伤和内部探伤结果均 100% 合格，焊接宏观金相显示焊接融合质量优异。NM450F 焊接部位的抗拉强度为 785 MPa、790 MPa，大于 740 MPa 的焊丝抗拉强度值，高于焊丝抗拉强度 40 MPa 以上，说明焊接部位的抗拉伸能力优异。焊缝区 -60 ℃低温冲击平均值 96.7 J，热影响区 -60 ℃低温冲击平均值 160.9 J，均远大于母材 -60 ℃低温冲击功要求。焊接部位的抗低温冲击性能优异，可以保证产品抗砸、抗冲击能力，极大地降低矿车车厢在低温环境中运行的失效风险，保证产品的运行安全。焊缝区、热影响区、母材区的维氏硬度测试结果也表明各焊接区域均无淬硬倾向，说明焊接部位性能均匀，可以避免运行过程中局部应力集中开裂的现象出现。

本次测试采用的焊接参数均为常用焊接参数，焊接过程不需要降低焊接效率，可以保证矿车车厢的高效生产。

4　结论

(1)NM450F 材料在常规的焊接工艺参数条件下具有良好的可焊性，焊接工艺性能可以满足矿用卡车车厢焊接的高效要求；

(2)采用 AWS ER100S-6 型林肯低合金钢焊丝对 NM450F 进行焊接，可以获得优异的内外部质量，具有良好焊接性能的焊接接头；

(3)NM450F 钢板焊缝的性能可以满足车厢在 -60 ℃低温工况条件下的使用要求。

参　考　文　献

[1]　刘军刚，袁林，王玮，等. 耐磨钢生产研究现状与分析[J]. 山东冶金，2011(2)：7-9.

[2]　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(6)：23-26.

[3]　朱荣，武艳军，张新平. 机械工程材料[M]. 化学工业出版社：2022.

[4]　赵海霞. 工程材料及其成形技术[M]. 化学工业出版社：2022.