输送机中部槽再制造修复用耐磨堆焊药芯焊丝的研制与应用

曹成铭[1, 2]，郝传海[3]，王书存[1]，乔飞[1]，尹楠楠[1]

1.山东能源重装集团恒图科技有限公司　山东泰安　271222
2.中国矿业大学机电工程学院　江苏徐州　221116
3.山东理工职业学院　山东济宁　272067

摘要：针对废旧煤矿机械刮板输送机中部槽的材质及磨损特性，设计研发了一种C-Cr-Mo系金属粉芯型气体保护耐磨堆焊药芯焊丝。通过对研发的焊丝进行焊接试验及分析后发现，该焊丝焊接性能优良，堆焊多层无裂纹，具有成形美观、飞溅小、烟尘低等优点；堆焊层化学成分稳定，符合设计要求；堆焊层硬度是母材NM400钢的1.3倍，耐磨性是母材的1.65倍，证明该焊丝可广泛应用于中部槽的再制造修复。

关键词：中部槽；耐磨堆焊；药芯焊丝

1　序言

磨损是煤矿综合采煤装备关键零部件的主要失效形式之一[1, 2]。仅刮板输送机中部槽，每年因磨损造成的经济损失初步估算价值上亿元。中部槽常见磨损位置主要在中板、槽帮等，磨损深度从10~80mm不等，如果直接报废处理，会造成重大资源损失，若能对其进行再制造修复，将极大地延长设备使用寿命，并为煤矿减少设备投资[3-6]。

堆焊作为方便快捷的表面再制造修复方法，可以对磨损件进行再制造修复，对恢复尺寸，延长设备的使用年限，提高资源利用率，具有广泛的经济和社会意义。药芯焊丝气体保护堆焊（包括自动化）具有劳动强度低、生产效率高的优势，因此在堆焊修复领域，对药芯焊丝的应用越来越大[7, 8]。

2　焊丝设计

考虑堆焊基材为高强度耐磨钢板，如NM360钢、NM400钢、NM450钢及NM500钢等。根据磨损程度，堆焊层厚度一般＞10mm，且具有较高硬度（大于耐磨板基材硬度，为50~60HRC）。为此采用C-Cr-Mo系合金设计该耐磨药芯焊丝。C能提高焊缝金属强度及硬度，但过高会造成焊缝开裂，因此w_C设计为0.5%~0.7%；Si和Mn均可提高焊缝金属的抗拉强度，但对韧性的影响比较复杂；Cr能提高焊缝金属强度及耐蚀性，w_{Cr}设计为5%~8%；Mo能提高淬透性，提高焊丝熔覆金属的强度、硬度，细化晶粒，防止回火脆性和过热倾向，w_{Mo}设计为0.5%~1.0%。

药芯焊丝设计为金属粉芯型，药粉主要以金属粉为主，矿石粉较少，设计为一定比例的造渣剂，主要为金红石、长石、萤石等，含量设计为10%~20%。稳弧剂主要为碳酸钾、氟硅酸钠、氟化钠等，含量设计为2%~5%。

3　NM400钢化学成分及焊接性分析

表1、表2分别为某国内钢厂专为煤矿机械、工程机械开发的高强度耐磨钢NM400的化学成分实测值及力学性能实测值。

表1　NM400钢板主要化学成分（质量分数）（%）

C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo
0.20	0.50	1.30	0.012	0.010	1.050	0.325	0.326

基金项目：山东省重点研发计划（重大科技创新工程）（2020CXGC011502）：面向复杂地质条件的工作面智能开采技术与装备。

表2 NM400钢板力学性能

屈服强度/MPa	抗拉强度/MPa	伸长率（%）	冲击吸收能量（－20℃）/J	硬度HRC
980	1300	12	32	43.5

耐磨钢在焊接过程中一般都存在较大的淬硬倾向，且与钢材强度级别成正比关系。NM400耐磨钢在堆焊时具有冷热裂纹倾向、淬硬倾向、氢致裂纹的敏感性强等特点。碳当量作为评定焊接焊缝裂纹倾向的方法，以此判别钢对各种裂纹的敏感性，按照碳当量经验公式计算，NM400钢的碳当量为0.512%，略高于标准值0.45%，因此焊接时会有淬硬倾向。为防止或减少焊接裂纹的产生，焊前需进行预热处理，焊后及时进行热处理以消除焊接应力。另外，焊接过程中应尽量保持低氢条件。

4 试验方法

采用自制的ϕ1.6mm耐磨药芯焊丝及焊接机器人工作站，在200mm×100mm×30mm尺寸的NM400钢试板单面多层堆焊≥10mm的堆焊层，堆焊参数见表3。首先，待自然冷却后，将堆焊层打磨成平面后，采用THR-150DT型数显洛式硬度计对熔覆层进行硬度检测，采用MiniLab 300型火化式直读光谱仪进行堆焊层化学成分检测；然后，利用线切割和机加工，将熔覆试块制成20mm×20mm×10mm的试样，同时取同样尺寸的NM400钢试样，对表面进行打磨、抛光及超声波清洗后，用分析天平称重。随后采用MPX-3X型摩擦磨损试验机进行耐磨性试验，摩擦副为ϕ6mm的氧化铝陶瓷球，试验载荷为200N，转速为20r/min，时间为2h。将磨损后的试样用超声波清洗去除磨屑，再用天平称重，对比研制的耐磨药芯焊丝熔覆层及NM400钢的磨损量。

表3 堆焊参数

焊接电流/A	电弧电压/V	送丝速度/mm·s^{-1}	保护气体	气体流量/L·min^{-1}	电源极性	干伸长/mm
260	24	6	80%Ar+20%CO_2	22	DC+	20

5 结果分析

（1）成形及熔覆层化学成分 经试验，研制的耐磨焊丝在堆焊过程中，送丝流畅，熔覆成形较好、飞溅小。堆焊层化学成分见表4，符合设计要求。

表4 堆焊层化学成分（质量分数） （%）

C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo
0.640	0.349	0.986	0.015	0.008	6.92	0.812

（2）熔覆层硬度及耐磨性 研制的耐磨焊丝堆焊层硬度及耐磨性测试结果见表5。从表中可以看出，研制的耐磨焊丝硬度为母材NM400钢的1.3倍，耐磨性是母材1.65倍，表现出优异的力学性能。

表5 堆焊耐磨层的硬度及耐磨性

材料	硬度HRC	磨损量/mg
耐磨堆焊药芯焊丝	56.8	5.2
NM400钢	43.5	8.6

6 结束语

本文研制的C-Cr-Mo系气体保护金属粉芯型耐磨堆焊药芯焊丝，在NM400高强度耐磨钢上堆焊时具有良好的焊接性，堆焊多层无裂纹，具有成形美观、飞溅小、烟尘低等优点，平均硬度达到56.8HRC，是原耐磨钢板硬度的1.3倍，焊丝各项性能优良，可用于中部槽再制造修复。

参考文献：

[1] 李明.煤矿设备再制造产业存在问题和解决措施初探[J].中国煤炭，2014（4）：30-33.
[2] 刘亚军.再制造技术在煤矿装备上的应用[J].山西焦煤科技，2014，38（1）：4-7.
[3] 裴赟钢.刮板输送机中部槽疲劳与磨损分析[J].山西焦煤科技，2018，42（3）：19-22.
[4] 王先龙，皮忠敏，谢杰.再制造修复技术在采煤机中的应用与实践[J]. 金属加工（热加工），2021（2）：18-20.
[5] 赵占林，张健，刘混举.刮板输送机中部槽再制造技术及工艺可行性研究[J].机械工程与自动化，2017（4）：119-120，123.
[6] 杜学芸，许金宝，宋健.激光熔覆再制造技术研究现状及发展趋势[J].金属加工（热加工），2020（3）：15-19.
[7] 毛淑芳，过秉坤，尚慧岭，等.刮板输送机中部槽堆焊修复的质量特性[J].煤矿机械，2012，33（9）：206-207.
[8] 李创基.堆焊法提高中部槽的使用寿命[J].焊接技术，2006（4）：33-34.

MW 20210315