

采煤机截割滚筒叶片保护耐磨块消失模制备工艺研究

张鸣一¹, 郭 瑞², 高 平¹, 田迎春¹, 耿文远¹

(1. 内蒙金属材料研究所, 内蒙古包头 014034; 2. 驻包头地区第二军代室, 内蒙古包头 014034)

摘要: 为提高采煤机截割滚筒叶片保护耐磨块的使用寿命, 采用消失模制备工艺进行生产, 耐磨块采用双金属固-液结合。研究从成分设计、双金属结合工艺设计、浇注工艺参数设计、热处理工艺参数设计等方面进行。结果表明: 采用消失模工艺制备双金属耐磨块, 具有较高的成品率及生产效率, 耐磨块结合牢靠, 耐磨性能较传统单一材质合金钢材质耐磨块有很大提高。

关键词: 双金属; 消失模铸造; 耐磨性

采煤机截割滚筒是采煤机用来截煤、碎煤、落煤、装煤的关键部件。采煤机在工作过程中, 滚筒做直线牵引运动和旋转截割运动。在截割煤体过程中, 安装有镐形截齿的叶片, 底部与煤岩直接接触, 处于连续式磨损的工作状态, 是采煤机采煤过程中易损部位。由于安装需要, 叶片的材质采用的是焊接性能较好的低碳钢, 耐磨性能差^[1]。生产中, 为保护叶片, 提高其使用周期, 将具有一定耐磨性能的耐磨块(如图1)依次排列, 通过焊接固定在叶片底部。传统的耐磨块均为单一材质的中碳中合金钢, 其化学成分为0.42%~0.46% C, 0.30%~0.80% Si, 0.60%~0.70% Mn, 1.20%~2.00% Cr, 0.70%~0.80% Ni, 0.15%~0.20% Mo, P、S≤0.04%, 硬度为HRC 40~43, 虽然具有一定的耐磨性能, 但焊接性能较差, 往往出现耐磨块脱落的现象。

1 试验方法

双金属耐磨块由非工作层和工作层两部分组成, 非工作层为低碳合金钢板, 工作层为高铬铸铁, 通过消失模工艺进行制备^[2], 两种金属采用固-液结合的方式铸造成型。工作层模型的制作利用电阻丝手工切割密度为0.016~0.018 g/cm³聚苯乙烯泡沫而成, 熔炼工艺在250 kg中频熔炼炉内进行, 涂料选用水机石英粉专用耐火涂料, 在球磨搅拌机内进行混匀, 模型在红外烘烤房内烘干, 烘烤温度52 ℃±3 ℃。抽真空采用SK-12水环式真空泵系统, 热处理在窑式台车反射炉内进行。

2 结果与分析

2.1 双金属耐磨块结构及材料成分设计

试验制备的双金属耐磨块外形尺寸为80 mm×100 mm×20 mm, 其结构由两部分组成: 非工作层(焊接层)与工作层, 如图2所示。

非工作层(焊接层)所起到的作用为: 通过焊接的方式将耐磨块与叶片底部结合, 从而固定耐磨块。由于在工作时非工作层不会受煤岩介质的磨损, 只需要材料具备良好的焊接性能, 所以试验设计低碳钢作为非工作层材料, 采用采购的低碳钢板进行加工成型, 成型后钢板尺寸为80 mm×100 mm×8 mm, 作为固-液双金属消

作者简介:

张鸣一(1990-), 男, 硕士, 主要研究方向为特种钢铁材料制备工艺技术。E-mail: zmyymjr@126.com

中图分类号: TG249

文献标识码: A

文章编号: 1001-4977(2019)

09-1060-05

基金项目:

内蒙古创新引导基金项目-双金属复合耐磨材料铸件产业化关键技术开发(CX2017211)。

收稿日期:

2019-01-31 收到初稿,

2019-04-11 收到修订稿。

失模铸造工艺的固态金属。

工作层直接与煤岩介质接触，受剪切、磨损等应力，需要其具备较高的耐磨性能。高铬铸铁是第3代耐磨材料，是目前国内外耐磨性能良好的材料^[3-4]，广泛应用于研磨体的生产，所以试验设计采用高铬铸铁作为工作层材料，其化学成分为2.6%~3.3% C，0.3%~0.8% Si，1.4%~2.0% Mn，17%~20% Cr，P、S 0.04%，采用消失模工艺制备。

双金属耐磨块工作层与非工作层采用如下方式实现固-液结合：将加工成形的低碳钢钢板与制作好的工作层模型进行粘接（图2），工作层高铬铸铁采用消失模铸造成形，液态的高铬铸铁在充型过程中与钢板接触，固态钢板在高温作用下熔融并与铁液发生冶金反应，实现双金属的固-液复合。

为提高耐磨块两种金属的结合强度^[5-6]，试验在非工作层的低碳钢板上设计了连接孔，在浇注过程中，高铬铸铁铁液流入连接孔，冷却凝固后可进一步加强两种金属的结合强度。前期试验，在钢板表面设计5个连接孔，孔型为梯形孔，外孔径为 $\Phi 12$ mm，内孔径为 $\Phi 8$ mm，采用锤击破坏性试验检验其结合强度，结果表明：在连接孔位置发生断裂，双金属耐磨块结合强度差。分析原因为：脆性较大的高铬铸铁在阶梯状连接孔的阶梯位置易产生应力集中，增大了断裂的几率；连接孔径小，铁液在部分孔内不能完全充型，极大地减弱了结合强度。试验对孔型进行了重新设计，采用锥形孔，且放大孔径，外孔径为 $\Phi 20$ mm，内孔径为 $\Phi 16$ mm，如图3。并通过锤击破坏试验进行检验，结果表明：经反复锤击，耐磨块没有发生断裂、掉落现象，结合牢固，消除了孔内应力集中现象。

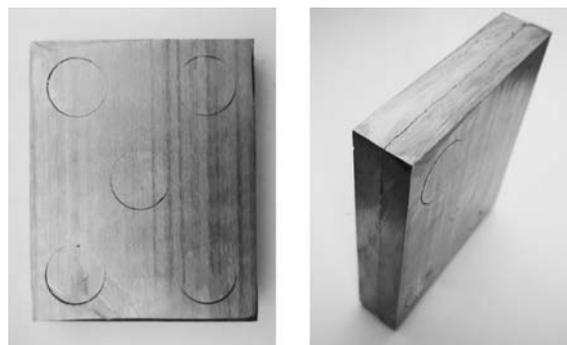
2.2 模型制作与组合

模型是消失模铸造成败的关键，没有高质量的模型，绝对不可能得到高质量的消失模铸件^[7]。消失模的模型除了决定着铸件的外部质量外，还直接与金属液接触并参与热量、质量、动量的传输和复杂的化学、物理反应，对铸件的内在质量也有着重要的影响。所以为保证铸件的成品率与质量，模型的制造环节必须给予足够的重视。双金属耐磨块工作部位的模型制作采用电阻丝手工切割聚苯乙烯泡沫成形，选用的泡沫为 $0.016\sim 0.018$ g/cm³聚苯乙烯泡沫，模型要求表面光滑，不得有明显凸起和凹陷，珠粒间融合良好，其形状和尺寸必须符合模样图纸要求，而且模型较实物的缩率为1.02%。打好孔的钢板在与模型进行粘合前，要进行表面去渍处理，确保粘接面光洁。采用白乳胶进行粘接，连接孔内需用泡沫进行填充，粘接处有缝隙的地方，用报纸密封。成型后烘干24~48 h，防止模型

变形，同时避免其中水分在浇注时产生大量水汽，造成反喷或气孔缺陷。

2.3 涂料及涂覆工艺

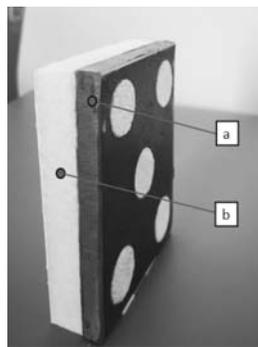
涂料的配制及干燥是获得优质铸件的重要环节之一。优质的涂料不仅有助于防止或减少铸件粘砂、砂眼等缺陷，同时可提高泡沫模型的强度和刚度，防止模样在运输、填砂振动过程中产生变形和破坏^[8]。为降低生产成本，涂料自行配制。涂料的耐火骨料为



(a) 双金属耐磨块正面 (b) 双金属耐磨块侧面结合层

图1 双金属耐磨块外形

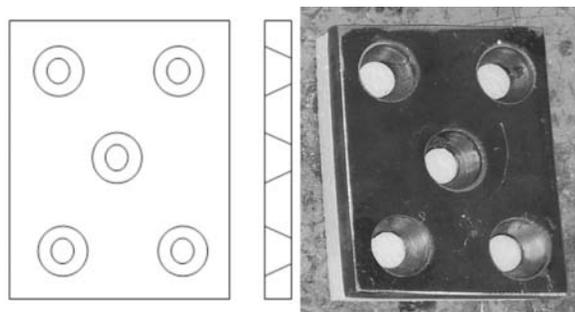
Fig. 1 Appearance of bimetallic wear block



a.非工作层(钢板) b.工作层(泡沫模型)

图2 双金属耐磨块结构

Fig. 2 The structure of bimetallic wear-resistant block



(a) 耐磨块锥形孔示意图 (b) 耐磨块锥形孔实物

图3 耐磨块的锥形孔

Fig. 3 Tapered holes in wear-resistant block

53 μm 的石英粉, 粘接剂采用白乳胶, 悬浮剂为纤维素, 溶剂为水。按设计比例加入球磨机内进行混匀, 搅拌4~6 h出料。模型涂料的涂覆采用人工涂刷, 涂料涂刷三层, 每层刷完后放入红外烘烤房内进行烘干, 待完全干燥后进行下一遍涂料的涂刷。

2.4 浇注系统设计及模型合箱

浇注系统与浇注方式的设计同样是决定铸件质量的关键。试验针对耐磨块的浇注成形, 设计了两种浇注系统, 一种为如图4所示的首尾串联式单层浇注系统, 另一种为图5所示的对开式上下双层浇注系统。结果表明: 采用首尾串联式的浇注系统进行浇注, 会出现尾部浇不足的现象, 导致铸件报废, 成品率较低, 且串联浇道不易清理, 增大耐磨块工作部位掉肉几率。采用对开式的浇注系统, 铁液在主浇道两侧流量分配均匀, 能够完全充型, 成品率可达到100%。

砂箱采用底抽式砂箱, 大小为1 350 mm \times 1 000 mm \times 500 mm。型砂使用850~425 μm 石英砂, 造型过程如下:

(1) 砂箱底部铺放100 mm厚的干砂, 经振动紧实后, 进行第一层模型合箱, 合箱过程中模型不能“漏白”, 用耐火泥将连接缝隙及“漏白”部分进行密封。

(2) 采用雨淋式的填砂方式, 为防止填砂产生的冲击力对模型造成损坏, 先从砂箱两侧充填型砂, 逐

步过渡到其他部位。模型顶部吃砂量100 mm, 型砂填满后振动1 min。再以同样方式进行第二层组合。

(3) 组合完成后, 覆盖密封塑料薄膜, 并铺敷厚100 mm干砂, 防止浇注时飞溅的钢液烧破塑料薄膜泄压。

2.5 熔炼与浇注

耐磨块高铬铸铁的熔炼在250 kg中频熔炼炉内进行, 按照设计成分进行计算配料。炉料要紧密, 以求快速熔化。开始通电6~8 min内先以小功率送电, 待电流冲击停止后, 逐渐将功率增至最大。熔炼过程中应随时推料防止“搭桥”, 并陆续添加炉料。

待炉料全部熔化, 温度升至1 480 $^{\circ}\text{C}$ 时出铁液。钢包烘烤温度 $> 600^{\circ}\text{C}$, 包衬为红黄颜色状态, 开启真空泵负压度设置为-0.06~-0.035 MPa。铁液在钢包中镇静2~3 min, 待温度达到1 420 $^{\circ}\text{C}$ 时, 进行浇注并在浇注时加强挡渣。浇注完成后将负压度调整为-0.025 MPa, 抽真空保持15 min关闭真空泵, 铸件于砂箱内保温8 h倒箱。铸件在空气中冷却。

2.6 热处理

为提高耐磨板的硬度及耐磨性能, 对铸件进行正火+回火处理, 热处理工艺如图6。

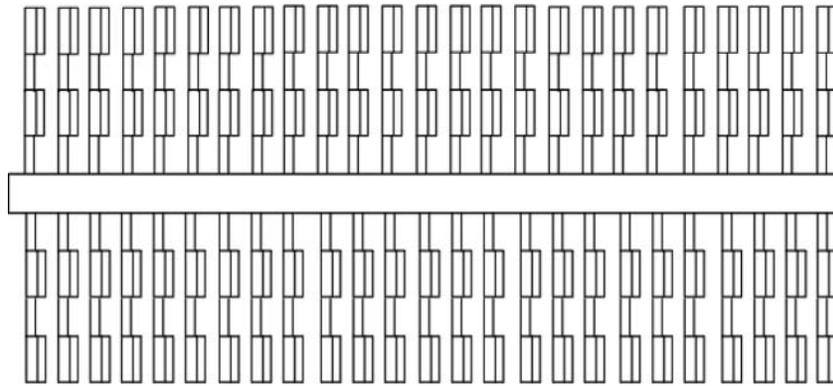


图4 首尾串联式单层浇注系统

Fig. 4 End to end tandem type single layer casting system

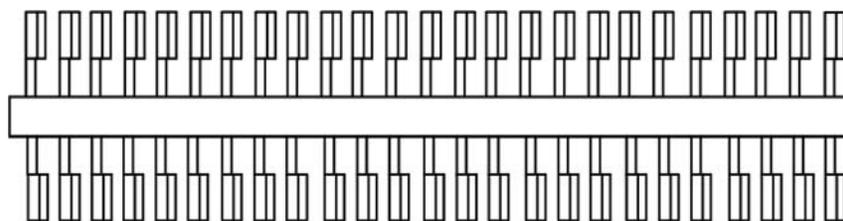


图5 对开式上下双层浇注系统

Fig. 5 The split upper and lower double layer casting system

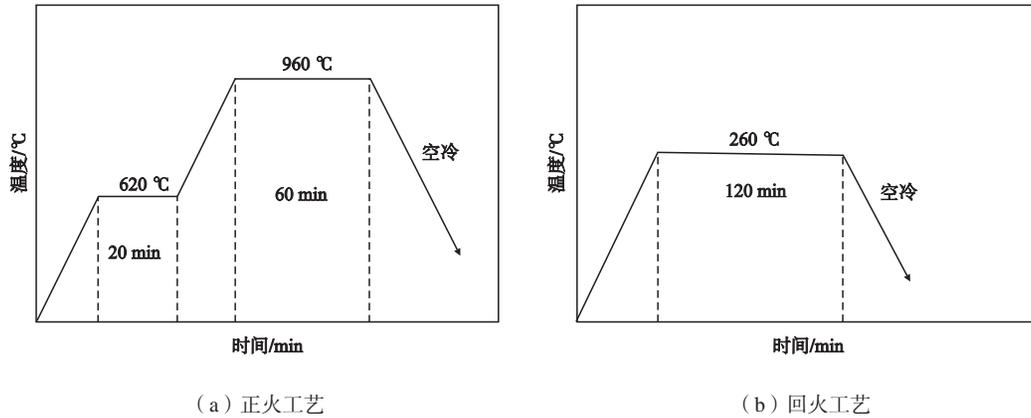


图6 双金属耐磨块热处理工艺

Fig. 6 Heat treatment process of bimetal wear-resistant block castings

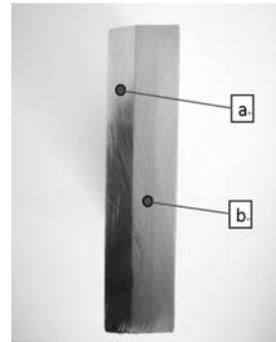
2.7 组织与性能

采用钼丝切割机从热处理后的铸件上进行取样，利用磨床加工金相观察用块状试样，利用数控机床加工冲击试样。将耐磨块从中部用钼丝切割机进行切割，对切面用240#至800#砂纸依次打磨，宏观观察双金属耐磨块的固-液结合情况，如图7所示。

从图7“固-液”结合的宏观照片可以看出，非工作层钢板与工作层高铬铸铁的结合界面清晰，且无明显气孔、裂纹及分层等缺陷。通过反复锤击破坏试验测试，结果表明，结合面无开裂、分离等现象，说明双金属“固-液”结合情况良好。

利用加工好的块状试样，用240#至2000#砂纸依次打磨，在抛光机上进行抛光处理。抛光后用无水乙醇清洗抛光表面，并用吹风机吹干。配置4%的硝酸酒精溶液进行腐蚀，腐蚀时间为45~50 s，使用无水乙醇清洗后烘干，在Observer.A1m型光学显微镜进行金相观察。

图8中热处理后的铸件组织形貌均为回火马氏体（基体）+共晶碳化物+少量残留奥氏体，碳化物形态除了主要为点状、块状外，还有长条状碳化物存在。马氏体及碳化物的存在，为耐磨块提供了良好的硬度及耐磨性能。利用HR-150A型洛氏硬度计测试了耐磨块的硬度见表1，利用JB30B冲击试验机测试了耐磨块的冲击韧性见表2。



a.非工作层钢板 b.工作层高铬铸铁

图7 固-液界面结合情况

Fig. 7 Macrostructure of solid - liquid interface in bimetal wear-resistant block

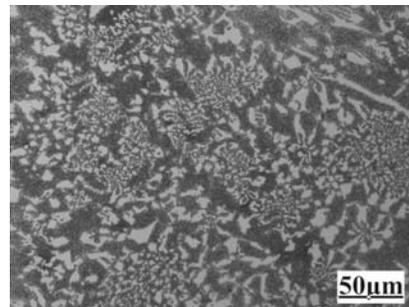


图8 热处理后的铸件组织形貌

Fig. 8 Microstructure of high Cr cast iron plate after heat treatment

表1 耐磨块的表面硬度

Table 1 The surface hardness of wear resistant block

试样	硬度HRC
第一点	60.5
第二点	61.5
第三点	61
平均值	61

表2 耐磨块的冲击韧性

Table 2 Impact toughness of wear-resistant block

试样	冲击韧性/J
1#	6.5
2#	6.8
3#	6.5
平均值	6.6

2.8 装机考核

通过装机在线考核了耐磨块的使用寿命, 试验表明: 在装机设备连续运转(无故障及检修)的情况下, 所制备的双金属耐磨块的使用周期为523 h。传统中碳中合金钢的使用周期为375 h, 且考核过程发生耐磨块与叶片分离掉落现象。

3 结论

(1) 双金属耐磨块采用固-液结合铸造工艺, 提高了耐磨块的使用寿命。

(2) 采用大孔径的锥形孔与小孔径的梯形孔相

比, 消除了应力集中现象, 减小了从连接孔处断裂的几率, 提升了双金属的结合强度。

(3) 对开式的浇注系统设计, 使双金属耐磨块的铸造成品率达到100%, 采用双层浇注, 实现了耐磨块的高效生产。

(4) 热处理后, 高铬铸铁耐磨块部分的组织为回火马氏体(基体)+共晶碳化物+少量残留奥氏体, 平均硬度为HRC 61, 平均冲击韧性6.6 J。

(5) 通过在线考核, 双金属耐磨块的使用周期较传统单一材质合金钢耐磨块的使用周期得到很大提升。

参考文献:

- [1] ZHOU Xingli, WANG Likun, LIAO Qingwei, et al. Weldability modification of conductive silver adhesion for piezoelectric composite material by co-doping of metal material and oxide material [J]. Chemical Physics, 2019 (1): 237-246.
- [2] 张立波, 田世江, 葛晨光. 中国铸造新技术发展趋势 [J]. 铸造, 2005 (3): 207-212.
- [3] 李卫, 周平安, 陈华辉. 耐磨新材料新技术研究开发与耐磨材料产业化——第十届全国耐磨材料大会述评 [J]. 铸造, 2004 (7): 503-510.
- [4] JIRAPATARASILP K, KAEWKUEKOOOL S, KLAHAN P. The study of influenced factors affecting to quality of cylindrical grinding harden AISI 4140 steel [C]//Mechanical and Electronics Engineering (ICMEE). 2010 2nd International Conference.
- [5] 刘清梅, 吴振卿, 关绍康. 双金属复合锤头界面结合性能的研究 [J]. 热加工工艺, 2003 (2): 13.
- [6] 冯朝跃. 双金属锤头的生产及应用 [J]. 铸造, 2000, 49 (9): 561.
- [7] 张鸣一, 郭伟岩, 王昊, 等. 滚轴碎煤筛选机筛片的消失模铸造工艺 [J]. 铸造, 2018, 67 (11): 971-973.
- [8] 杨哲, 汪磊. 铸钢用水基消失模铸造涂料研究 [J]. 铸造, 2018, 67 (12): 1076-1079.

Preparation Technology of Lost Foam Casting Cutting Roller Blade for Shearer

ZHANG Ming-yi¹, GUO Rui², GAO Ping¹, TIAN Ying-chun¹, GENG Wen-yuan¹

(1. Inner Mongolia Metal Materials Institute, Baotou 014034, Inner Mongolia, China; 2. Second Military Command in Baotou, Baotou 014034, Inner Mongolia, China)

Abstract:

In order to improve the service life of the block of the wear-resistant blocks for the protection of the cutting roller blades for the shearer, the lost foam casting process and the bimetal solid-liquid combination were adopted. From the aspects of composition design, bimetal bonding process design, pouring process parameter design, heat treatment process parameter design, etc., the research was carried out. The results show that the solid-liquid interface of the bimetal wear-resistant blocks prepared by EPC process is firmly bonded, and the wear resistance of the bimetal wear-resistant blocks is much better than that of the traditional single material. In addition, the yield and production efficiency have also been significantly improved.

Key words:

duplex/ bimetal metal; lost foam casting; wear-resistance