

蠕墨铸铁制动盘表面片状石墨层及其控制的研究

肖恭林, 徐小辉, 喻光远, 杨志刚, 钱坤才

(中车戚墅堰机车车辆工艺研究所有限公司, 江苏常州 213011)

摘要: 针对蠕铁制动盘表面片状石墨恶化层缺陷, 分析了片状石墨的形成原因及机理, 发现砂型中S含量高是形成片状石墨的主要原因, 而砂型中硫主要来自再生砂, 少量来自固化剂。通过试验, 研究了型砂中再生砂添加比例及硫含量对蠕铁片状石墨层深度的影响。结果表明: 低硫固化剂+防渗硫涂料+30%以上的新砂的呋喃树脂砂工艺, 或控制再生砂硫含量 $\leq 0.11\%$, 最终型砂硫含量 $\leq 0.14\%$, 可降低盘面片状石墨恶化层深度在工艺允许范围内。

关键词: 蠕墨铸铁; 制动盘; 片状石墨; 恶化层; 渗硫

1995年戚墅堰机车车辆工艺研究所研发的国内客车用蠕铁制动盘并装车上线, 见图1。随着我国客车时速的不断提高, 对客车制动盘质量要求越来越高, 而蠕铁制动盘表面片状石墨恶化层的存在形成的灰斑、黑斑(图2), 既增加了盘面的加工余量也影响了表面外观质量, 使废品率和生产成本升高。基于上述现状, 作者以控制蠕铁制动盘表面片状石墨恶化层为目标, 进行了原因分析及技术研究, 这对提高蠕铁制动盘质量具有重要意义。

1 片状石墨形成原因分析

1.1 金相组织分析

对蠕铁制动盘盘体片状石墨斑纹处进行金相组织分析, 未见疏松、夹杂及裂纹等铸造缺陷, 石墨以片状石墨为主, 如图3所示。正常盘体金相组织中蠕化率约为85%, 珠光体含量约35%, 如图4所示。因为盘体由外向内的片状石墨较深, 为铁素体型灰铸铁, 不能满足材料要求, 必须通过机加工去除。

1.2 机理分析

由上述原因分析可知, 减少盘体表面片状石墨恶化层深度是减少盘体表面加工余量, 提高铸件出品率和质量的关键。众所周知, 蠕墨铸铁中出现片状石墨^[1-2], 原因有两个: 一是蠕化衰退形成片状石墨, 二是蠕化不良形成片状石墨; 蠕化衰退是冷却时间长造成的, 蠕铁制动盘不是厚大铸件, 不存在冷却时间过长而造成蠕化衰退形成片状石墨, 因此可以排除第一个原因。蠕化不良形成片状石墨的机理是: 铁液中的镁、稀土与硫发生反应, 造成蠕化元素镁和稀土含量不足, 无法生成蠕虫状石墨而直接生成片状石墨。因此, S是形成片状石墨的主要原因, 为消除片状石墨就应将硫含量控制在较低的水平。

硫的来源主要是两个: 铁液中的硫; 型砂中的硫。铁液中的硫不可能是消耗镁、稀土的主要来源, 因为如果铁液中的硫含量过高, 那么整个铁液中的硫含量都过高, 那就会造成整包铁液不蠕化而是灰铸铁, 实际情况是整包铁液蠕化合格后才进行浇注的。因此, 铁液中的硫不是造成盘体表面形成片状石墨的主要来源, 造成制动盘盘体表面形成片状石墨的硫主要来自型砂。

从图5可以看出, 砂型中硫来自固化剂和再生砂, 苯磺酸类、游离硫酸都会增加

作者简介:

肖恭林(1971-), 男, 高级工程师, 硕士, 研究方向为铸造工程管理及铸造工艺研究。E-mail: yuan10122003@163.com

中图分类号: TG143.49

文献标识码: A

文章编号: 1001-4977(2019)

05-0464-06

收稿日期:

2019-01-14 收到初稿,

2019-02-25 收到修订稿。

砂型的硫含量。其中，磺酸固化剂中苯磺酸属于有机物，在砂型温度升至800 ℃时分解为气体，有二氧化硫、二氧化碳，但游离硫酸沸点338 ℃，分解成二氧化硫和水蒸气，造成砂型硫含量快速增加^[3-4]。制动盘型芯为不含硫的冷芯，外型为含硫的树脂砂，当高温铁液进入型腔，型（芯）砂就会发气，散热筋内侧是无硫气氛，不容易渗硫，而制动盘盘体外圈被含硫气氛包围，容易渗硫夹灰。

磺酸固化剂由苯磺酸类、水和游离硫酸组成，苯磺酸类一般含量为65%~70%。目前我国生产的磺酸类固化剂，特别是冬季，为了降低生产成本和提高硬化速度，经常加入大量硫酸，降低苯磺酸类的加入量，以此提高固化剂的总酸度，不同型号的磺酸固化剂游离硫酸的含量见表1。在呖喃树脂砂生产中，磺酸固化剂中的苯磺酸参与主



图1 蠕铁制动盘

Fig. 1 Vermicular graphite cast iron brake disc

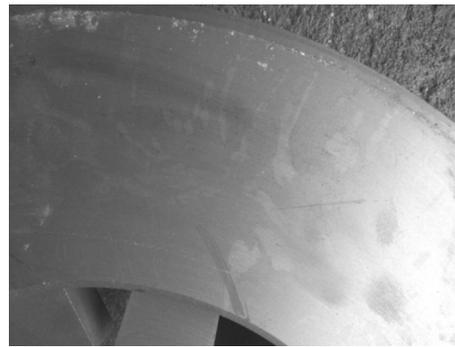
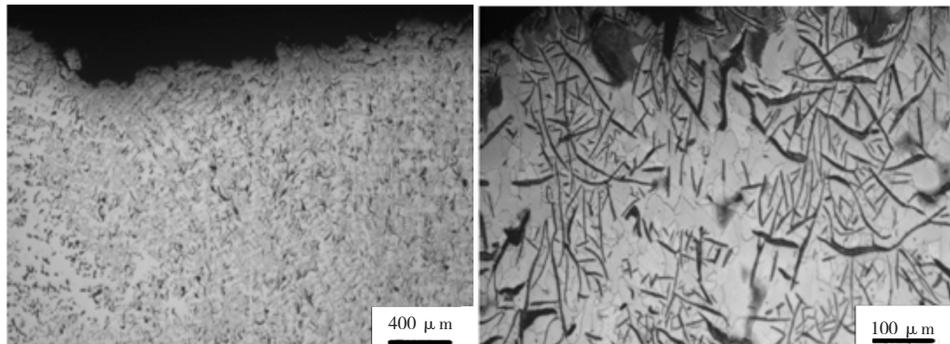


图2 蠕铁制动盘片状石墨斑块

Fig. 2 Flake graphite spots on vermicular graphite cast iron brake disc

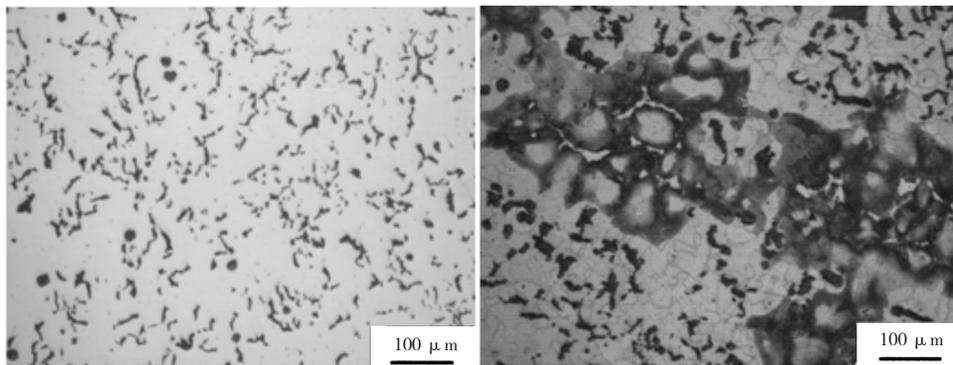


(a) 未腐蚀

(b) 腐蚀

图3 片状石墨斑处金相组织

Fig. 3 Metallographic structure of flake graphite spots



(a) 未腐蚀

(b) 腐蚀

图4 非片状石墨斑处的金相组织

Fig. 4 Metallographic structure of non-flake graphite spots

要硬化反应，磺酸类固化剂中的游离硫酸含量是导致树脂砂中增硫的主要原因，苯磺酸、游离硫酸都会增加砂型中硫的含量。高游离硫酸固化剂对砂型增硫明显，吸收率较高，对球墨铸铁件、蠕墨铸铁件表面质量影响也较大。为了提高铸件的质量，应选用游离硫酸小于10%的磺酸固化剂^[4]。

2 试验结果及分析

2.1 控制型砂硫含量的试验

2.1.1 防硫试验及结果分析

(1) 提高铸型涂料质量。采用流涂工艺代替人工刷涂的方法，提高铸型表面涂料的均匀性和厚度。由于人工刷涂不够均匀，可能存在漏刷、涂层厚度不均等情况发生。采用流涂的方法，对制动盘外型进行流涂，涂层效果见图6。采用流涂方式上涂料，试验结果显示，蠕铁制动盘盘体片状石墨深度最深达到

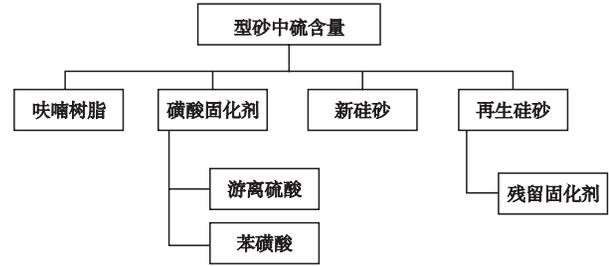


图5 树脂砂中硫的来源

Fig. 5 Source of sulphur in resin sand

4.5 mm，跟人工刷涂效果差不多，说明采用醇基涂料进行流涂不能解决问题。

(2) 采用防渗硫涂料。分别选用2家公司的防渗硫涂料进行刷涂，见图7。采用A和B公司防渗硫涂料人工刷涂方式上涂料^[5]，先后试验两次，试验结果：第一次效果比较好，表面片状石墨深度在1 mm左右，

表1 不同型号的磺酸固化剂游离酸的含量

Table 1 Content of free acids in different types of sulfonic acid curing agents

GH03		GH04		GH05		GH06		$w_B / \%$
A型	B型	A型	B型	A型	B型	A型	B型	
0.1~1.5	7.0~14.0	0~1.5	8.5~16.0	0~1.5	13.0~21.8	7.0~10	16.0~23.5	



图6 铸型流涂效果

Fig. 6 Flow coat effect of mold

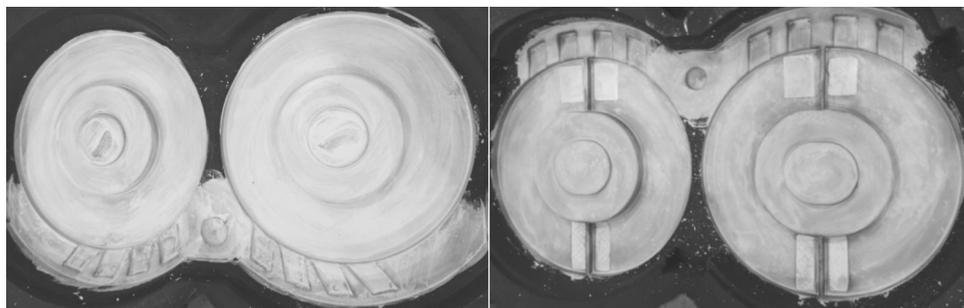


图7 铸型上涂料效果图

Fig. 7 Sulphur-proof coatings on mold

第二次表面片状石墨深度最浅1.3 mm，最深达到3~4.5 mm，有效果，但是不稳定。说明采用防渗硫涂料也难以完全消除片状石墨。

2.1.2 降硫试验及结果分析

(1) 选用无硫树脂砂造型工艺。采用C公司无硫树脂砂打制外模，在不刷涂料的前提下，盘体表面的片状石墨基本没有，金相显微镜下测得在0.3 mm以下。通过这个试验进一步说明：硫是形成片状石墨的原因，且硫来源于外型呋喃树脂砂。

(2) 选用低硫树脂砂造型工艺。采用低硫固化剂+30%比例新砂+流涂涂料。通过“硫的来源”的分析，确定现在的呋喃树脂砂中的硫的主要来源于固化剂及再生砂，现采用低硫固化剂代替一般固化剂，同时加入30%的新砂，涂料工艺不变，进行试验。结果显示：散热筋处片状石墨最深深度达4.5 mm，最小0.1 mm，通过降硫措施，有效果，但不稳定，可能型砂中的总的硫含量还是有点高，现用普通的刚玉粉流涂涂料不能完全阻挡型砂中的硫，导致有些散热筋渗硫情况。

2.1.3 防硫+降硫试验及结果分析

(1) 低硫固化剂+防渗硫涂料。采用低硫固化剂、全再生砂，同时外型刷防渗硫涂料，试验结果显示：盘体表面片状石墨深度有降低趋势，但不是很稳定。从取样的结果来看，有的片状石墨深度在1 mm以内，有的深度较深，达5.5 mm。

(2) 低硫固化剂+防渗硫涂料+10%新砂。采用低硫固化剂，造型时添加10%比例的新砂，同时外型刷防渗硫涂料。试验结果显示：盘体表面上片状石墨深度有降低趋势，从取样的结果来看，有的片状石墨深度在1 mm以内，有的深度较深，达4.5 mm。

(3) 低硫固化剂+防渗硫涂料+20%新砂。采用低硫固化剂，造型时添加20%的新砂，同时外型刷防渗硫涂料。试验结果显示：盘体表面上片状石墨深度继续降低，从取样的结果来看，大部分片状石墨深度在1 mm以内，个别深度较深，达3 mm。

(4) 低硫固化剂+防渗硫涂料+30%新砂。采用低硫固化剂，造型时添加30%的新砂，同时外型刷防渗硫涂料。试验结果显示：散热筋上片状石墨深度很浅，宏观上很难看出来，从取样的结果来看，基本上散热筋上片状石墨深度在1 mm以内。

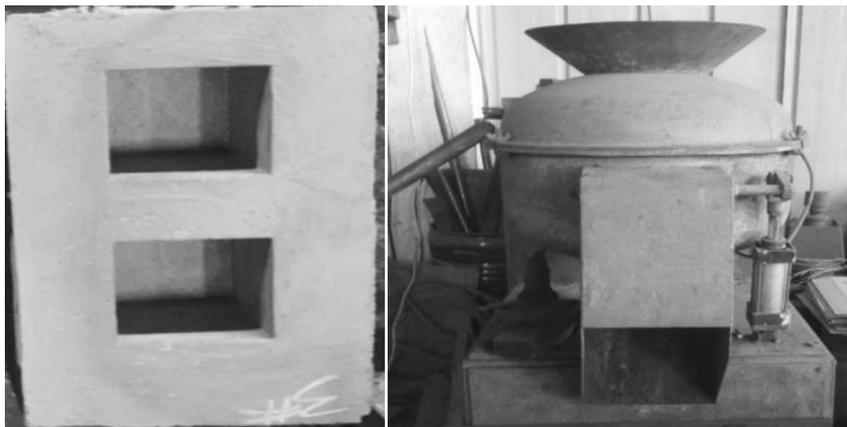
(5) 低硫固化剂+防渗硫涂料+100%新砂。采用低硫固化剂，大林砂打外型，同时外型刷防渗硫涂料。试验结果显示：盘体表面上片状石墨深度全部在0.5 mm及以内，效果非常好。

以上说明，再生回用砂的使用比例影响较大。

2.2 型砂硫含量对蠕铁片状石墨层深度的影响

采用搅拌式混砂机混砂制成100 mm×100 mm×100 mm立方试块(图8)，其中树脂加入量0.9%，固化剂加入量占树脂40%，分别进行全再生砂、10%新砂、20%新砂、30%新砂、40%新砂等5种型砂试验方案，而且从浇注的立方块的底面和侧面的中心位置各取一个金相试样，然后进行金相分析。由图9可知：当再生回用砂硫含量 $\leq 0.11\%$ 时，最终型砂硫含量 $< 0.14\%$ ，100 mm厚的蠕铁试块片状石墨层深度 ≤ 10 mm，片状石墨层深度 $\leq 1/10$ 壁厚。

根据上面的试验结果，将不同含硫量的呋喃树脂砂进行制动盘造型，结果显示，随着含硫量的递减，蠕铁制动盘盘体表面片状石墨恶化层深度逐渐减少；当型砂硫含量 $\leq 0.11\%$ 时，表面片状石墨层深度控制



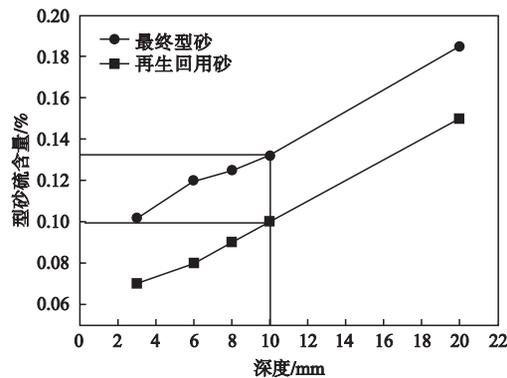
(a) 立方块

(b) 搅拌式混砂机

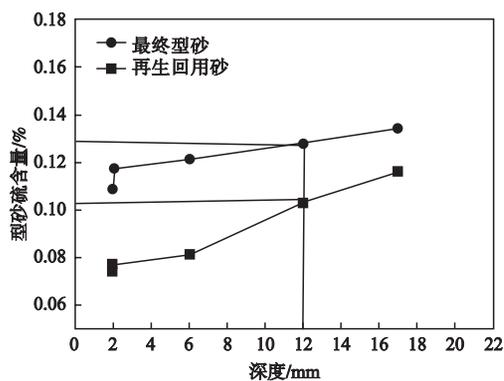
图8 试验对象及设备

Fig. 8 Test object and equipment

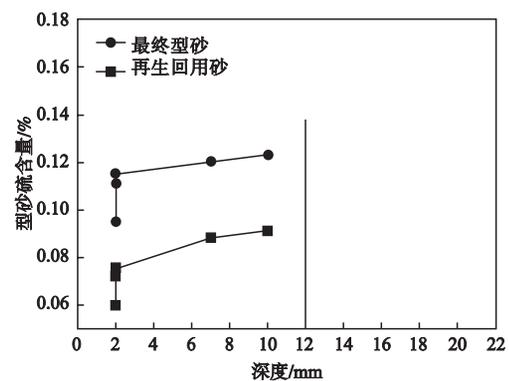
在3 mm以内,反之,盘体表面片状石墨层深度不稳定,提高了盘体加工余量,严重的造成铸件报废。因此控制蠕铁制动盘表面片状石墨的型砂硫含量对应新砂加入比例关系:①当再生回用型砂硫含量 $\leq 0.11\%$,不需要加新砂;②当再生回用型砂硫含量 $> 0.11\%$ 时,需要加新砂,新砂加入比例计算公式: $B \geq 100(1-0.11/A)$, A 为再生砂硫含量,%; B 为新砂加入量,%。



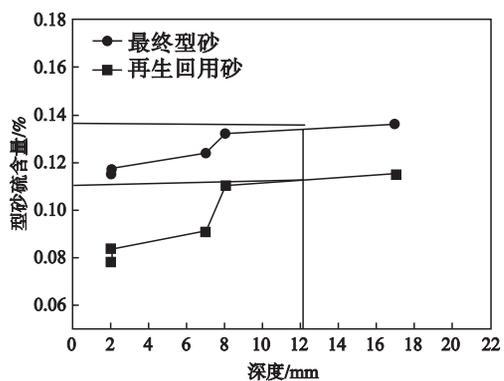
(a) 全再生砂



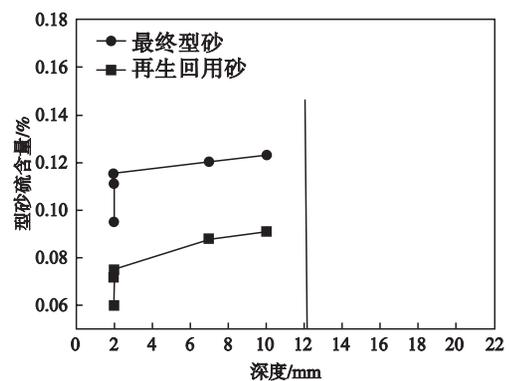
(b) 10%新砂



(c) 20%新砂



(d) 30%新砂



(e) 40%新砂

图9 型砂硫含量对蠕铁片状石墨层深度的影响

Fig. 9 Effect of sulfur content in mould sand on the depth of vermicular iron flake graphite layer

3 结论

(1) 蠕铁制动盘表面恶化层是由于表面渗硫造成蠕化不良,形成的片状石墨恶化层;斑纹的金相组织主要是以片状石墨为主的铁素体型灰铸铁组织。

(2) 型砂中的硫主要来源于再生砂,少量来自固化剂,因此采用低硫固化剂+防渗硫涂料+30%以上的新砂的呋喃树脂砂工艺,可以降低蠕铁制动盘盘体表面片状石墨恶化层深度。

(3) 通过防硫+降硫相结合的方式,控制再生回用型砂硫含量 $\leq 0.11\%$;或当再生回用型砂硫含量 $> 0.11\%$ 时,通过新砂加入比例来调节型砂的硫含量,能控制蠕铁制动盘表面片状石墨恶化层深度在工艺允许范围内。

参考文献:

- [1] 中国机械工程学会铸造分会. 铸造手册: 第1卷 铸铁 [M]. 2版. 北京: 机械工业出版社, 2002: 345-347.
- [2] 鲁栋, 许景峰, 姜爱龙, 等. 蠕墨铸铁蠕化衰退特性研究 [J]. 铸造设备与工艺, 2016 (6): 38-40.
- [3] 李宗猛, 潘振华, 毛协民, 等. 呋喃树脂硬化过程中呋喃环反应行为的研究 [J]. 铸造, 1997 (7): 12-15.
- [4] 陈蓉, 马文进, 张瑞雪, 等. 磺酸固化剂使铸造砂型增硫的原因研究 [J]. 铸造, 2013 (12): 1223-1228.
- [5] 韩永华, 商继章, 姜正义, 等. Pep-Set树脂砂和呋喃树脂砂特性对比研究 [J]. 铸造, 2014 (10): 608-610.

Study on Flake Graphite Layer and Its Control on Vermicular Graphite Cast Iron Brake Disc Surface

XIAO Gong-lin, XU Xiao-hui, YU Guang-yuan, YANG Zhi-gang, QIAN Kun-cai
(CRRRC Qishuyan Institute Co., Ltd., Changzhou 213011, Jiangsu, China)

Abstract:

In the production process of vermicular graphite cast iron brake disc, the flake graphite deteriorating layer was often formed on the surface of brake disc. In the present research, the formation reason and mechanism of flake graphite were analyzed. It was concluded that the high sulfur content in mold sand is main reason of flake graphite formation, and the sulfur content in mold sand come from reclaimed sand more, curing agent less. Therefore, the effects of sulfur content in mold sand and addition proportion of reclaimed sand on the depth of flake graphite layer at the surface of vermicular graphite cast iron brake disc were experimentally studied. The results show that the flake graphite layer depth of disc surface can be reduced to the allowable range by using furan resin sand process with low sulfur curing agent and new sand of more than 30%, along with anti-sulfur coating. Furthermore, it is also feasible if the sulfur content of reclaimed sand is less than 0.11% and the final sulfur content in sand mold is less than 0.14%.

Key words:

vermicular graphite cast iron; brake disc; flake graphite; deteriorating layer; sulfurizing