DOI:10.16410/j.issn1000-8365.2019.01.018

铸钢用消失模铸造涂料的优化设计

梁　贺
(歌尔股份有限公司,山东 潍坊 261031)

摘　要：采用5因素、4水平的正交试验对铸钢用消失模涂料的工作性能和工艺性能进行了研究,5个因素分别为钠基膨润土、羧甲基纤维素钠(CMC)、硅溶胶、酚醛树脂和801胶,通过试验确定了影响因素的主次顺序,得出了最佳的工艺参数组合。经过实际检验,生产的铸钢件表面质量良好,没有气孔夹渣等铸造缺陷产生。

关键词:铸钢;消失模铸造;涂料;优化设计

中图分类号:TG221　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1000-8365(2019)01-0072-04

Optimum Design of Lost Foam Casting Coating for Cast Steel

LIANG He
(Goertek Co., Ltd., Weifang 261031, China)

Abstract: The working performance and process performance of the lost foam coating for cast steel were studied by five-factor and four-level orthogonal tests. The five factors were sodium bentonite, sodium carboxymethyl cellulose (CMC), silica sol and phenolic resin and 801 glue, the primary and secondary order of influencing factors were determined through experiments, and the best combination of process parameters was obtained. After actual inspection, the surface quality of the cast steel parts produced is good, and no casting defects such as pore slag are generated.

Key words: cast steel; lost foam casting; coating; optimization design

消失模涂料与一般铸造涂料不同,它不是涂敷在铸型型腔表面,而是涂敷在泡沫塑料模样上[1-3]。它的主要作用有:防止金属液渗入砂型中形成黏砂,提高泡沫塑料模样的强度和刚度,排出泡沫塑料热分解的产物等[4-6]。

消失模涂料一般由耐火骨料,黏结剂,载体,悬浮剂,及其他添加剂组成。试验采用80%石英粉和20%锆英粉为耐火骨料,水为载体,采用的增稠剂为钠基膨润土,悬浮剂为羧甲基纤维素钠(CMC),高温黏结剂为硅溶胶,低温黏结剂为酚醛树脂。由于泡沫塑料模样在浇注时产生油溶性液态产物,为了增加这些液态产物排出涂料层的速度,降低铸件的增碳量,试验采用了一种油溶性黏结剂801胶以取代常用的水溶性黏结剂白乳胶,另外添加了少量表面活性剂、消泡剂和防腐剂。

1　实验材料与方法

为优化涂料性能,试验设计了5因素、4水平的正交试验,5个因素分别为钠基膨润土、羧甲基纤维素钠(CMC)、硅溶胶、酚醛树脂和801胶,每个因素设定4个水平进行试验,而其余材料则按固定量处理。根据涂料的使用性能,每次加入水量为200 g,正交设计如表1所示。

表1 正交设计表
Tab.1 Orthogonal experiment design table

	钠基膨润土/g	羧甲基纤维素钠(CMC)/g	硅溶胶/g	酚醛树脂/g	801胶/g
1	4	4	6	2	2
2	6	6	8	4	4
3	8	8	10	6	6
4	10	10	12	8	8

2　试验结果与讨论

消失模涂料的性能指标可以归纳为两类:工作性能和工艺性能。

2.1　涂料的工作性能

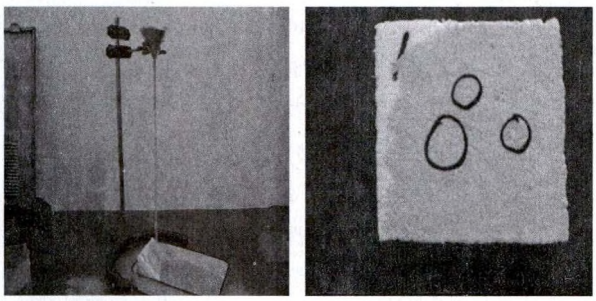
消失模涂料的工作性能主要是涂料的透气性、表面强度和高温强度。

(1)涂料的透气性测试,涂料的透气性分为常温透气性和高温透气性,用水玻璃砂制成ϕ50 mm×50 mm的砂样,在砂样的一端涂上涂料并烘干,用透气性测定仪测出涂敷涂料后试样的常温透气性;然后放入900 ℃的高温炉中,保温2 min,测出涂料的高温透气性。

收稿日期:2018-10-30

作者简介:梁　贺(1973-),河北廊坊人,博士,高级工程师.主要从事消失模铸造技术方面的工作.
电话:15120088190,E-mail:lianghe163@yeah.net

(2)涂料表面强度的测试,采用冲砂法,将粒径为 0.212 mm 的标准石英砂自 500 mm 高处连续不断地冲刷干燥后的涂层,直至涂层表面被冲出 1 mm 的圆孔时停止冲刷,如图 1(a)所示,称出落下的石英砂质量,即可表征涂层表面强度的大小。图 1(b) 为涂料测量表面强度时经冲刷石英砂后的照片,图中 3 个黑圈中的白点为涂层表面 3 次测量时被冲出的圆孔。



(a)测试装置　　(b)测试后的涂层

图 1 涂料层表面强度测试图

Fig.1 Testing of coating surface strength

(3)涂料高温强度的测试,用水玻璃砂制成 ϕ50 mm×50 mm 砂样,在其表面涂上涂料烘干后,放入 900 ℃的电阻炉中,保温 2 min,取出后观察涂层表面的裂纹情况,为方便数据分析,分为 3 级用来判断涂料的高温强度,其中,1 级为涂料表面没有裂纹,赋值为 3,2 级为涂料表面有极小裂纹,赋值为 2,3 级为表面有少量裂纹,赋值为 1。涂料的工作性能指标测试结果见表 2。

对涂料工作性能指标试验结果进行计算,其所在因素的级差值如表 3 所示。

由表 3 可知:①对于涂料的常温透气性和高温透气性,钠基膨润土的级差分别为 624 和 1 861,影响最大,其他因素之间的级差并没有明显的差距;②对于涂料的表面强度,羧甲基纤维素钠(CMC)的级差为 2 366.5,明显大于其他因素;③对于涂料的高温强度,硅溶胶的级差为 1.75,是最重要影响因素。

2.2　涂料的工艺性能

试验涂料的工艺性能测试主要进行了以下几项:

(1)涂挂性,试验是将泡沫塑料薄片浸入涂料中,取出后观察涂料是否涂挂在所有的浸泡表面上,厚薄是否均匀,以此评价涂料涂挂性的好坏。为方便数据分析,分为 3 级用来判断涂料的高温强度,其中,1 级为涂层很均匀,赋值为 3,2 级为涂层表面有少量波纹,赋值为 2,3 级为表面有波纹,赋值为 1。

表 2 涂料工作性能

Tab.2 Coating work property

	常温透气性 /cm³·g⁻¹·min⁻¹	高温透气性 /cm³·g⁻¹·min⁻¹	表面强度 /g	高温强度
1	1 285	3 216	407	1
2	1 680	2 821	745	2
3	1 556	2 215	1 865	3
4	1 048	3 062	2 512	1
5	955	1 994	565	2
6	853	1 452	803	2
7	1 041	1 917	1 803	1
8	662	1 802	2 480	3
9	1 893	2 811	457	2
10	2 146	3 506	817	1
11	863	2 498	2 057	2
12	1 105	3 495	3 250	2
13	1 231	3 651	343	1
14	859	3 157	1 315	3
15	967	3 753	1 965	2
16	1 392	4 048	2 996	1

(2)滴淌性,涂料的滴淌性可用涂料的滴淌率来评定。测试需用天平、秒表、涂片和支架。先用天平称出涂片(40 mm×40 mm 的不锈钢片)重 G_1。把涂片浸到待测涂料中,取出将涂片挂在支架上,支架下方放着薄膜以承接涂片上滴下的涂料。用秒表控制涂料的滴淌时间为 30 s,再称出涂片加涂料的重量 G_2 和滴下的涂料 G_3。则涂片上附着的涂料重 $G=G_2-G_1$,滴淌率 $\eta=G_3/(G_3+G)$,滴淌率 η 越小,涂料的滴淌性就越好。

(3)悬浮率,采用柱塞量筒法测定,将配制好的涂料缓慢地注入柱塞量筒内直到 100 mL,静置 24 h,观察并计算出下部沉降物的体积百分数,即为悬浮率。

(4)流平性,取一张纸,每隔 5 mm 画一个圆,直到直径为 200 mm,将纸铺在水平桌上,之上放一玻璃板。将支架放在玻璃板上,把 ϕ50 mm 漏斗放在支

表 3 涂料的工作性能极差

Tab.3 Coating working property range of factors

	膨润土 /g	羧甲基纤维素钠 (CMC) /g	硅溶胶 /g	酚醛树脂 /g	801 胶 /g
常温透气性 /cm³·g⁻¹·min⁻¹	624.00	377.75	268.25	439.75	570.25
高温透气性 /cm³·g⁻¹·min⁻¹	1861.00	506.00	537.75	253.25	391.50
表面强度 /g	272.5	2366.5	262.5	287.5	195.0
高温强度	0.25	0.50	1.75	0.25	0.50

架上,使漏斗下面的小孔对准圆心。将漏斗装满涂料,让涂料自由流出,记录最后流完时圆上的直径大小,直径越大,表明该涂料的流平性越好,如图 2。

图 2 测量涂料流平性测试
Fig.2 Testing of coating flow flat property

(5)涂料黏度,采用旋转黏度计,型号为 NDJ-9S 型,数显黏度计,选用 2 号转子,转速 R 取 12,分 3 次测量,结果取平均值。

经测试涂料的悬浮率均为 100%, 黏度基本稳定为 667 Pa·s,因此,只将涂挂性、滴淌率和流平性等 3 项涂料工艺性能指标结果列入表 4。

表 4 涂料的工艺性能
Tab.4 Coating processing property

	涂挂性	滴淌性(%)	流平性 /mm
1	1	55.95	100.53
2	3	47.18	92.15
3	2	37.81	87.03
4	1	31.39	84.26
5	2	46.28	94.03
6	2	58.00	103.88
7	1	53.06	99.38
8	1	41.01	103.13
9	3	21.48	89.16
10	3	15.74	88.19
11	2	45.99	88.44
12	1	35.94	80.81
13	3	39.11	92.13
14	3	60.23	89.56
15	2	49.36	82.06
16	2	27.49	84.19

对涂料工艺性能指标试验结果进行计算,其所在因素的级差值如表 5 所示。

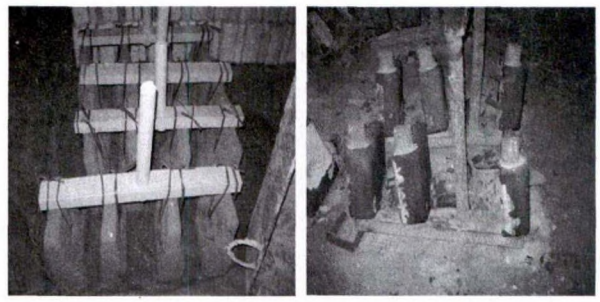
表5 涂料的工艺性能极差
Tab.5 Coating processing property range of factors

	膨润土 /g	羧甲基纤维素钠 (CMC) /g	硅溶胶 /g	酚醛树脂 /g	801 胶 /g
涂挂性	1	1.5	0.75	0.75	0.5
滴淌性(%)	19.8	14.77	12.03	19.47	8.67
流平性 /mm	13.46	5.87	7.00	5.60	4.41

由表 5 可知:①对于涂挂性,羧甲基纤维素钠(CMC) 的级差为 1.5,明显大于其他因素;②对于滴淌性,801 胶的级差为 8.67%, 明显低于其他因素;③对于流平性,钠基膨润土为最重要影响因素。

综合涂料的工作性能和工艺性能, 对钠基膨润土选择水平 4,对羧甲基纤维素钠(CMC) 选择水平 3,硅溶胶选择水平 3,酚醛树脂选择水平 3,801 胶选择水平 4 进行优化组合, 重新制备涂料并测量其工作性能和工艺性能。经测量,优化后的涂料工作性能指标值为:常温透气性 1 106 $cm^3 \cdot g^{-1} \cdot min^{-1}$,高温透气性为 3 364 $cm^3 \cdot g^{-1} \cdot min^{-1}$, 表面强度 3 057 g,高温强度"优";工艺性能指标值为:涂挂性"优",滴淌率 25.19%,悬浮率 100%,流平性 95.32 mm,涂料黏度 668 Pa·s,由此可见,试验达到了优化涂料性能的目的。

经过测试的涂料在生产高锰钢衬板的厂家进行了试用,涂料可均匀地浸涂在模型内外表面,并且在干燥后具有一定的柔韧性,同时,涂料对模型有良好润湿性能,干燥后室温强度较高,未发生变脆及脱落现象。铸件浇注后表面质量良好,没有气孔、夹渣等明显铸造缺陷产生,如图 3。



(a)涂挂后 (b)浇铸后

图 3 涂料生产测试
Fig.3 Testing of coating on production

3 结论

通过对涂料骨料的合理配比和各种添加剂的正交试验设计,综合涂料的工作性能和工艺性能,选取钠基膨润土选择水平 10 g, 对羧甲基纤维素钠(CMC) 8 g,硅溶胶 10 g,酚醛树脂 6 g,801 胶 6 g,水 200 g,进行优化组合,使涂料的强度、透气性、涂挂性、滴淌量、悬浮率、流平性、涂料黏度、涂料密度等性能指标达到一个理想状态,经测试,铸钢件表面质量良好,符合实际生产需要。

参考文献:

[1] 刘兰俊,周杰,徐庆柏. 等. 消失模铸造涂料的研制[J]. 铸造技术,2001,32(3): 9-11.

[2] 姜青河,刘旭,王蔚. 消失模涂料的润湿性对铸件碳缺陷的影响[J]. 特种铸造及有色合金,2007,(3): 215-218.

(下转第 78 页)

孕育处理是低温球墨铸铁生产的关键，孕育的效果决定了石墨球的直径、石墨球的圆整度，因此孕育处理分两次进行。①包内孕育：球化剂加入后，在其表面覆盖 3～6 mm 的硅钡孕育剂，加入量为 0.65%；②随流孕育：采用 Si-Ca-Ba-Bi 孕育剂，粒度为 0.2～0.8 mm，加入量为 0.25%。

2.5 浇注工艺控制

浇注温度控制在 1 400～1 430 ℃，浇注温度太低，或断流会引起铸件上面筋不清晰或充填不满。浇注时应采取快速、平稳注入原则，注意及时挡渣操作。

3 热处理工艺

由于铸件存在不均衡凝固，铸态组织中可能会存在渗碳体和磷共晶，铁素体晶界存在珠光体，为了保证铸件基体中铁素体含量达到 95%以上，采用高温铁素体化退火工艺处理[5]。热处理工艺为加热到 910～940 ℃保温 2～5 h，使碳化物分解溶入奥氏体中，再冷却到 720～740 ℃保温 3～6 h，然后随炉冷却到 580 ℃之后可以空冷，铸件室温组织为石墨球+铁素体。可以消除碳化物，增加铁素体含量，提高铸件伸长率和冲击韧度。

4 生产结果

采用上述铸造工艺生产的电机端盖加工后尺寸和件重符合要求，加工端面 100%超声波探伤检验合格，没有发现缩松、裂纹、砂眼等缺陷。QT400-10AL 球铁化学成分 w(%)为：3.6 C，2.3 Si，0.15 Mn，0.025 S，0.04 P，$RE_{残}$=0.034，$Mg_{残}$=0.038 时，金相组织完全达到国家规定的标准，伸长率稳定在 20%以上，低温冲击值高于 12 J/cm^2(-20 ℃)，如表 2。

表2 电机端盖附铸试棒金相组织和力学性能

Tab.2 Microstructure and mechanical properties of the casting bar attached to the motor end cap

编号	抗拉强度 /MPa	屈服强度 /MPa	伸长率(%)	-20 ℃低温冲击功 /J	硬度(HB)	球化等级	铁素体数(%)
1	420	270	21	16	155	2~3	95
2	416	250	26	19	145	2	97
3	424	280	22	18	150	2	95

5 结束语

消失模铸造电机端盖低温高韧度球墨铸铁件，选用采用 EPS 板材加工而成，EPS 板材的密度 18 g/dm^3，电机端盖低温高韧度球墨铸铁件表面质量好，没有夹渣、加砂、冷隔、变形等缺陷，消失模电机端盖类低温高韧度球墨铸铁件时，原材料选用本溪或林州的优质 Q10、Q12 专用球铁生铁，严格控制硅、锰、硫、磷含量，合理的化学成分 w(%)为：3.65~3.9 C，2.1~2.4 Si，Mn<0.2，S<0.025，P<0.04，0.03~0.04 $RE_{残}$，0.04~0.05 $Mg_{残}$，0.3～0.6 Ni，基体金相组织为全铁素体，不能含有渗碳体和磷共晶，采用低镁低稀土铁素体球化剂，合理的球化工艺、孕育工艺，获得高的球化率、细小分散的石墨球，有利于提高球墨铸铁的伸长率、低温冲击值，生产合格的铸件。

参考文献：

[1] 邓宏运，王春景，阴世何，等. 消失模铸造及实型铸造技术手册[M]. 北京：机械工业出版社，2013.

[2] 章舟，王春景，邓宏运，等. 消失模铸造生产实用手册[M]. 北京：化学工业出版社，2011.

[3] 崔春芳，邓宏运，赵琦. 消失模铸造技术及应用实例[M]. 北京：机械工业出版社，2007.

[4] 魏兵，袁森，张卫华. 铸件均衡凝固技术及其应用[M]. 北京：机械工业出版社，1998.

[5] 张锡联. 风力发电机电机端盖低温球墨铸铁件的生产 [J]. 中国铸造装备与技术，2013(4)：36-38.

(上接第 74 页)

[3] Akbarzadeha Y, Rezaei M, Babaluoa A A, et al. Microstructure, permeability and rheological behavior of lost foam refractory coatings, Surface & Coatings Technology[J], 2008, (202) :4636-4643.

[4] Kannan P, Biernacki J J, Visco D P, et al. A review of physical and kinetic models of thermal degradation of expanded polystyrene foam and their application to the lost foam casting process. Appl. Pyrolysis[J], 2007, (78):162-167.

[5] M. Abdelrahman, J. P. Arulanantham, R. Dinwiddie, G. et al. Monitoring metal-fill in a lost foam casting process. ISA Transactions [J] ,2006 , (45):459-475.

[6] P. M. Geffroya, M. LakehalJ. Goni, E. Beaugnonb, et al.Thermal and mechanical behaviour of grey cast iron and ductile iron castings using magnetic molding and lost foam processes.Journal of Materials Processing Technology[J], 2009, (209):4103-4111.