

采用低负压大流量降低消失模碳缺陷

廖春柏, 许小龙

(安徽合力股份有限公司 合肥铸锻厂, 安徽合肥 230022)

摘要: 介绍了消失模铸造特点、特有碳缺陷的形成原因和特点。描述了消失模铸造的应用现状, 以本企业的典型产品3 t变速箱为例介绍了消失模铸造的优势和缺陷问题。并基于充型试验和批量生产试验, 提出采用低负压、大流量来降低消失模碳缺陷的控制工艺, 对其控制要领进行了详细阐述。

关键词: 消失模铸造; 碳缺陷; 低负压; 大流量

消失模铸造(又称实型铸造)技术是将与铸件尺寸形状相同的塑料泡沫成型模片粘接组合成模型簇, 刷涂耐火涂层并烘干后, 埋在干砂中振动造型, 在一定真空负压下浇注金属液, 使模型汽化, 金属液占据模型位置, 冷却凝固后形成所需铸件的方法, 其工艺流程如图1所示。

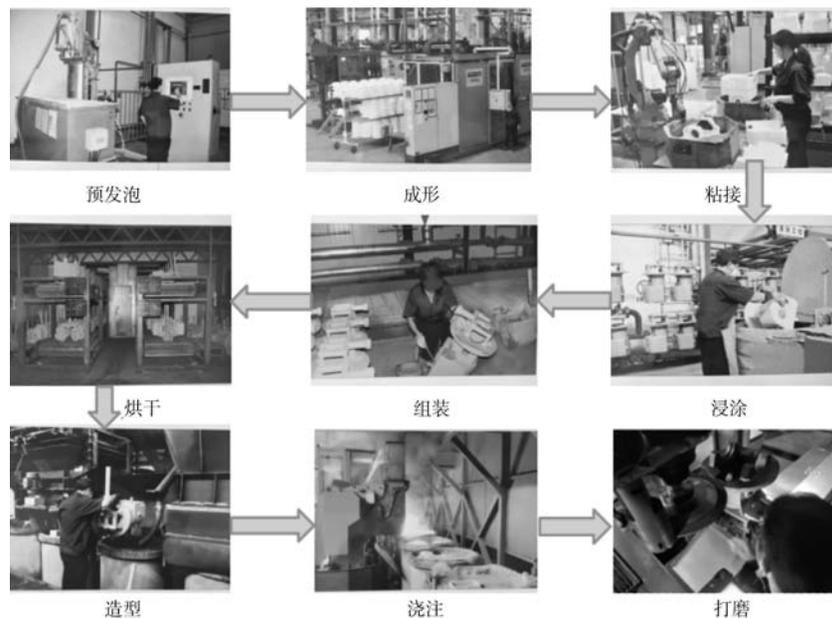


图1 消失模铸造的工艺流程

Fig. 1 The process flow of lost foam casting

消失模铸造技术的优势体现的越来越明显, 许多中小企业相继投产。我公司某款叉车的主要零部件变速箱, 其内腔结构复杂, 目前在消失模铸造生产线上年产10万件以上, 产品质量稳定, 但铸件内部的碳缺陷约占铸件产量的15%。

1 消失模产品碳缺陷的形成原因及特点

由于消失模铸造时使用白模直接埋进干砂中, 在真空负压的状态下进行浇注。受高温金属液热解后形成一部分固液产物, 不能及时排出, 残留在铸件的表面和内部, 形成了消失模铸造独有的柏油状焦化后的黑色团状缺陷, 使铸件表面和局部出现

作者简介:

廖春柏(1989-), 男, 学士, 主要从事铸造工艺及控制技术研究工作。电话: 15856921162, E-mail: 772916570@qq.com

中图分类号: TG250.6

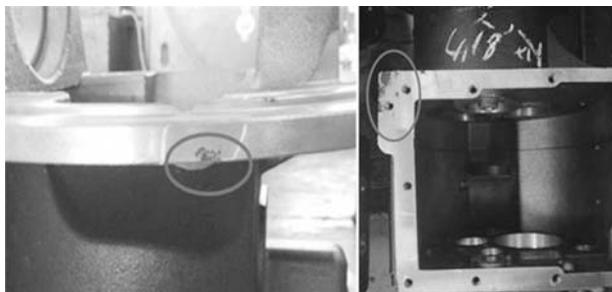
文献标识码: B

文章编号: 1001-4977(2023)09-1199-05

收稿日期:

2022-12-12 收到初稿,
2023-02-17 收到修订稿。

积碳、黑渣状夹杂物^[1]。存在碳缺陷的铸件在加工后表面呈现黑色团状碳缺陷，导致加工面不平整（图2），较大尺寸的碳缺陷的存在严重影响铸件的使用性能。

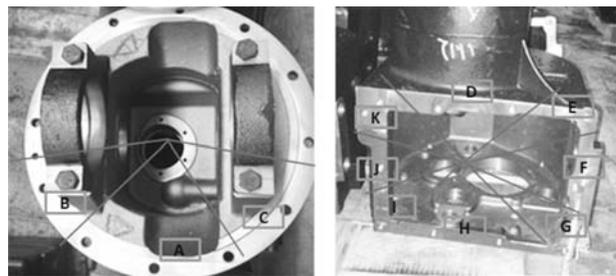


(a) 变速箱法兰面 (b) 变速箱窗口

图2 消失模工艺生产的变速箱体加工后存在的碳缺陷

Fig. 2 Carbon defects of gearbox produced by lost foam casting after machining

通过对消失模生产的叉车用变速箱体加工后碳缺陷分布位置进行了统计发现，发现缺陷位置集中在铸件厚大部位及充型的远端，分布位置不固定，有随机分布的倾向，如图3和表1。



(a) 变速箱法兰面 (b) 变速箱窗口

图3 消失模工艺生产变速箱体碳缺陷分布示意图及分布比例

Fig. 3 Distribution diagram of carbon defects in gearbox produced by lost foam casting process

表1 消失模工艺生产变速箱体碳缺陷分布比例
Table 1 Distribution proportion of carbon defects in gearbox produced by lost foam casting process

位置	数量	比例/%	合计/%
A	243	18.05	
B	123	9.14	43.16
C	215	15.97	
D	99	7.36	
E	123	9.14	
F	87	6.46	
G	137	10.18	56.84
H	186	13.82	
I	8	0.59	
J	15	1.11	
K	110	8.17	

2 真空负压大小对铁液充型及碳缺陷的影响

消失模铸造浇注时真空负压除了保证砂型的强度，还有利于排出泡沫燃烧的分解产物^[2]。消失模浇注时白模气态热裂解产物会通过涂层向型砂中传输，而液态热解产物则会润湿涂层，并在更高的温度下，渗透涂层（如图4）。因此，浇注时涂层、型砂、真空负压管道共同构成了热裂解产物的排出通道，为保证排出热裂解产物，降低碳缺陷的发生率，保证此排出通道的大流量畅通是重要的控制方法。

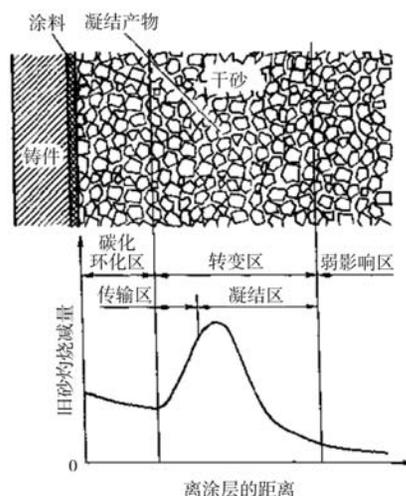


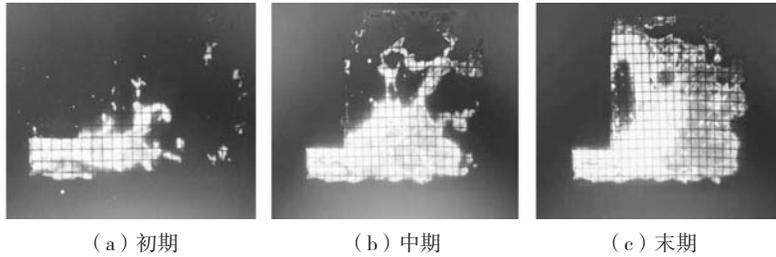
图4 消失模浇注时裂解产物的排出通道

Fig. 4 Discharge channel of pyrolysis products during lost foam casting pouring

一般认为，提高真空负压有利于更快、更彻底地排出分解产物，降低碳缺陷的发生，但却忽视了负压对于充型平稳性、附壁效应、碳缺陷的影响。我们使用高速摄像机对消失模不同大小负压下充型情况进行了连续捕捉。在真空负压为 -0.04 MPa时，充型初期金属液以“激射”的状态进入型腔，在负压和重力的作用下，金属液前端呈无定型锯齿状，充型无规律，属于典型的紊流。此时，泡沫分解产物会被卷入金属液，并随机分布（如图5）。随着真空负压的降低至 -0.02 MPa时充型变得平稳，但能看到负压对铁水形成的附壁效应（如图6），直至降至0时，充型变平稳，层流特点突出，金属液逐层推进，填充至铸件远端（如图7所示）。

3 大流量抽真空对于碳缺陷的影响

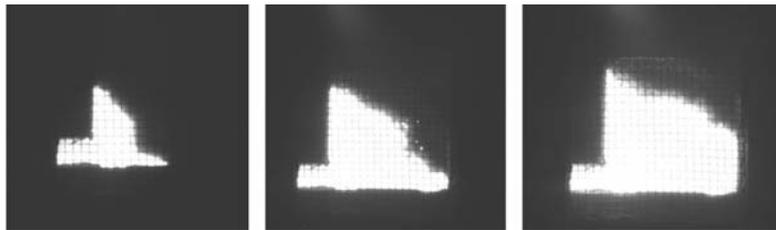
原有的砂箱抽真空桩头接口直径为 $\Phi 80$ mm，为扩大抽真空流量，通过改造砂箱底部抽真空接口，使用 $\Phi 125$ mm硬质软管连接至主管道（如图8），在同等条件下，分别试验50箱，统计对比加工后铸件上的碳缺陷数量。随着真空管道最小内径的扩大，同比碳缺陷



(a) 初期 (b) 中期 (c) 末期

图5 消失模负压为-0.04 MPa时的充型过程

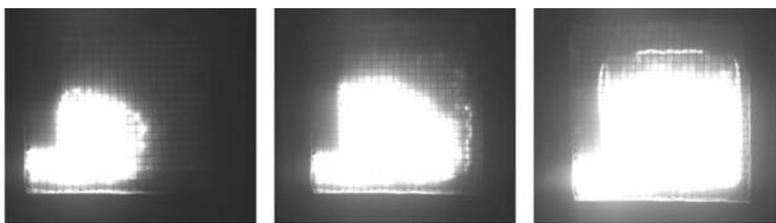
Fig. 5 Mold filling process when the negative pressure of lost foam casting is -0.04 MPa



(a) 初期 (b) 中期 (c) 末期

图6 消失模负压为-0.02 MPa时的充型过程

Fig. 6 Mold filling process when the negative pressure of lost foam casting is -0.02 MPa



(a) 初期 (b) 中期 (c) 末期

图7 消失模负压为0时的充型过程

Fig. 7 Mold filling process when the negative pressure of lost foam casting is 0

(a) 砂箱底部管径增加到 $\Phi 125$ mm (b) 抽真空管径更改后

图8 抽真空管道最小内径改造

Fig. 8 Reconstruction of minimum inner diameter of vacuum pipe

呈下降趋势, 3 t箱体加工后碳缺陷数见表2。

4 低负压、大流量抽真空的作用

根据以上不同负压下消失模充型实验, 发现: ①较大负压会加剧充型过程中的紊流作用, 使得金属液前端的裂解产物无法向涂层推进、排出, 而被卷入金属液中, 形成随机分布的碳缺陷; ②较大的负压加剧附壁效应, 使得型腔过早结壳封闭, 切断了裂解产物的排出通道。

表2 不同抽真空流量对碳缺陷的影响
Table 2 Effect of different vacuum flow rates on carbon defects

负压/MPa	缺陷数量	
	接口直径80 mm	接口直径120 mm
-0.02	156	117
-0.03	177	132
-0.04	228	199

因此, 根据试验结果对叉车变速箱体进行了批量试验, 试验采用-0.05、-0.04、-0.03、-0.02 MPa负压分别浇注100件铸件, 即: 采用 $\Phi 125$ mm和 $\Phi 80$ mm真空管内径各浇注50件, 标记加工后, 对出现碳缺陷的数量及分布位置进行了统计, 分析发现负压越低发生碳缺陷的比例越低, 且分布位置越集中, 抽真空流量越大, 碳缺陷越少。当负压降至-0.02 MPa时, 碳缺陷主要集中在铸件最高点位置及铁液充型的远端(表3)。

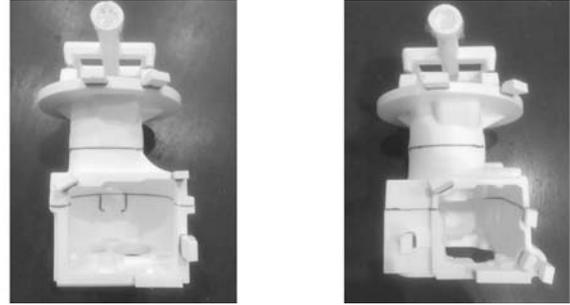
根据碳缺陷位置的统计分布, 在发生碳缺陷概率较大的位置增加集渣冒口, 可进一步有效降低碳缺陷的发生。目前, 通过低负压加集渣冒口的配合使用

表3 变速箱体碳缺陷分布
Table 3 Distribution of carbon defects in gearbox

位置	数量	比例/%	合计/%
A	19	7.39	法兰面36.96
B	36	14.01	
C	40	15.56	
D	18	7.00	窗口面63.04
E	10	3.89	
F	38	14.79	
G	39	15.18	
H	45	17.51	
I	1	0.39	
J	10	4.55	
K	12	5.45	

(图9), 生产的叉车变速箱加工面碳缺陷基本控制在5%左右。

通过以上试验验证, 充分证明低负压、大流量抽真空是实际生产中有效减少碳缺陷的重要手段。大流



(a) 机械变速箱增加集渣冒口 (b) 液力变速箱增加集渣冒口

图9 消失模工艺生产变速箱体使用夹渣冒口降低碳缺陷
Fig. 9 Reducing of carbon defects by use slag collecting riser in gearbox production with lost foam casting process

量的实现, 要通盘考虑到整个裂解产物排出通道的畅通, 这其中包含真空泵抽气容量的选择、真空管路的通畅性、砂箱透气性、型砂透气性、涂料透气性等多方面因素。因此, 定期清理真空管道和砂箱, 严格控制型砂粒度(表4)和涂料透气性(表5)同样不容忽视。

表4 消失模型砂粒度分析
Table 4 Sand grain size analysis of lost foam casting

2020年型砂粒度检验分析记录										
序号	筛分结果/%									
	20目	30目	40目	50目	70目	100目	140目	200目	270目	底盘
1	18.28	47.70	23.48	6.46	2.04	0.72	0.14	0.06	0	0
2	17.10	46.62	22.38	7.08	2.54	1.22	0.30	0.08	0.02	0
3	17.60	40.42	22.02	7.34	3.12	3.96	2.74	1.40	0.38	0.68
4	24.68	42.84	19.94	5.40	2.66	1.84	0.76	0.28	0.08	0.20
5	23.74	44.96	20.76	6.32	2.14	0.72	0.20	0.04	0.02	0
6	25.10	44.86	19.32	5.86	2.18	1.04	0.30	0.08	0	0
7	20.56	33.68	27.08	13.84	2.56	1.08	0.40	0.08	0.60	0.06
8	20.98	22.66	36.44	14.72	2.46	1.56	0.62	0.16	0.02	0.04
9	21.32	27.04	37.62	10.48	2.48	0.74	0.20	0.02	0	0.04
10	19.86	34.26	28.09	14.04	2.70	0.64	0.20	0.06	0	0.02
11	25.84	35.40	25.36	10.98	1.56	0.18	0.06	0	0	0.02
12	19.76	35.44	29.12	12.98	2.12	0.44	0.10	0	0	0.02
13	13.54	40.90	27.82	9.54	4.46	2.74	0.88	0.12	0	0
14	18.26	39.58	23.12	8.48	4.78	2.62	1.14	0.20	0	0
15	16.72	43.86	21.94	9.76	4.28	2.14	0.64	0.18	0	0.04
16	15.72	47.08	23.18	8.44	3.28	1.42	0.36	0.06	0	0.04
17	22.10	32.00	25.90	12.30	4.10	2.20	2.10	0.18	0	0.04
18	21.30	32.30	26.90	7.50	4.20	2.40	0.70	0.05	0.12	0.10
19	19.80	37.54	23.60	6.60	4.01	3.11	1.64	0.60	0.13	0.02
20	19.30	36.80	25.10	6.92	4.51	3.45	1.83	0.69	0.15	0.05
21	19.76	35.44	29.12	12.98	2.12	0.44	0.10	0	0	0.02
22	19.44	34.88	25.82	14.92	2.68	1.04	0.46	0.12	0	0.02
23	16.72	43.86	21.94	9.76	4.28	2.14	0.64	0.18	0	0.04
24	15.72	47.08	23.18	8.44	3.28	1.42	0.36	0.06	0	0.04

表5 EP9511消失模涂料透气性检测
Table 5 EP9511 coating air permeability test of lost foam casting

批次	透气性			波美度
	透气性1	透气性2	均值	
9C12D171	95.00	93.20	94.10	75
9C12D173	94.50	93.10	93.80	75
0C12J211	75.70	79.54	77.62	75
0C12M092	82.90	82.80	82.85	75
0C12M093	83.27	83.49	83.38	75
0C12M191	89.38	97.50	93.44	75
0C12M182	80.30	82.57	81.44	75
0C12Y092	80.25	78.47	79.36	75
0C12U031	68.90	72.10	70.50	74
0C12U272	71.19	73.46	72.33	75
0C12L201	85.30	81.91	83.61	75
0C12A011	69.75	72.30	71.03	74
0C12A162	73.36	73.85	73.60	75
0C12S032	86.20	94.15	90.18	75
0C12S121	65.30	66.39	65.84	75
0C12O022	85.45	76.92	81.19	74
0C12O242	64.85	67.02	65.93	75
0C12N051	66.52	68.30	67.41	74
0C12N282	72.30	71.90	72.10	75
0C12D083	78.84	77.52	78.18	74

5 结语

通过试验观察和实际生产验证, 低负压、大流量是减少消失模碳缺陷发生的有效手段, 主要机理是低

负压浇注减少碳缺陷的随机分布, 大流量能够保证浇注时裂解产物的畅通排除, 结合在固定位置使用集渣冒口可将碳缺陷消除。

参考文献:

- [1] 解明国. 消失模铸件碳缺陷分析与研究 [D]. 合肥: 合肥工业大学, 2004.
- [2] 黄天佑, 黄乃瑜, 吕志刚. 消失模铸造技术 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2004.

Reducing Carbon Defects in LFC with Low Negative Pressure and Large Flow

LIAO Chun-bai, XU Xiao-long

(Hefei Casting & Forging Factory, Anhui Heli Co., Ltd., Hefei 230022, Anhui, China)

Abstract:

The characteristics of lost foam casting, the causes and characteristics of special carbon defects are introduced. The current application status of lost foam casting was described, and the advantages and defects of lost foam casting were introduced using the typical product of our company, the 3-ton gearbox, as an example. Based on the filling test and batch production test, a control process using low negative pressure and high flow rate to reduce carbon defects in lost foam casting is proposed, and its control essentials are elaborated in detail.

Key words:

lost foam casting; carbon defect; low negative pressure; large flow