

蠕铁气缸体量产中的蠕化衰退成因研究

王鹏, 张行河, 李婕, 李月锋, 鲍俊敏

(潍柴(潍坊)材料成型制造中心有限公司, 山东 潍坊, 261000)

*通讯作者: 鲍俊敏, 女, 高级工程师, 硕士。E-mail: junmin00102003@163.com

摘 要: 本文研究了在批量化蠕墨铸铁气缸体生产过程中, 同一包次铁水浇注的多箱铸件发生个别铸件蠕化衰退的情况。研究表明, 浇注之前浇包内温度及化学成分均无异常。蠕化衰退情况发生在铁水浇注过程中, 浇注前的铁水等待时间较长将造成铁水回硫。此外, 浇包出铁嘴含硫釉渣偶然性随流进入砂箱内部, 随铁水流动至型腔末端终止, 在铸件凝固结晶前熔解并消耗周边 Mg 元素, 最终造成了铸件局部产生阶梯状蠕化衰退情况。

关键词: 蠕墨铸铁; 蠕化衰退; 铁水回硫; 超声波检测

Study on the cause of vermicularizing fading in mass production of vermicular graphite cast iron cylinder block

WANG Peng, ZHANG Xing-he, LI Jie, LI Yue-feng, BAO Jun-min

(Weichai (Weifang) Material Molding Manufacturing Center Co., LTD., Weifang 261000, Shandong, China)

Abstract: In the process of mass vermicular graphite cast iron cylinder block production, the vermicularizing fading of several box castings with the same ladle of hot metal was studied. The results show that the temperature and chemical composition of the ladle before pouring are not abnormal. The vermicularizing fading occurs in the process of pouring hot metal, and the long waiting time before pouring will result in sulfur recovery. In addition, the sulphur-containing glaze at the tip of the casting ladle occasionally enters the sand box with the flow, flows with the hot metal to the end of the cavity, melts and consumes the surrounding Mg elements before the casting solidifies and crystallizes, and finally causes the local ladle-like vermicularizing fading of the casting.

Keywords: compacted graphite iron; vermicularizing fading; Sulfur return of hot metal; ultrasonic detection

1 前言

随着柴油机功率的持续提高和节能减排要求的严格, 蠕墨铸铁因其具有良好的力学性能、抗热疲劳性能, 铸造性能以及气密性, 近年来广泛的应用在柴油发动机气缸盖和气缸体铸件上^[1,2]。目前蠕墨铸铁生产较为成熟的工艺为喂丝法, 该工艺可通过设置喂丝速度、喂丝长度等参数十分精确地控制蠕化剂的加入, 同时具有吸收率高、烟尘少、成本低等优点, 可以稳定地获得蠕化率在 80 % 以上的蠕墨铸铁^[3,4]。近年来, 公司持续扩大了蠕铁气缸体和气缸盖铸件产能, 为稳定批量化蠕铁气缸体生产工

艺, 针对公司近期出现的个别铸件蠕化衰退情况, 本文将结合生产实际分析蠕化衰退原因, 保证蠕铁气缸体铸件的稳定生产。

2 蠕墨铸铁生产过程

我司蠕铁生产采用 12 t 中频感应电炉熔化铁水, 电炉原铁水经 OCC 蠕化处理站喂线处理为蠕铁铁水, 蠕化处理结束后采用 OCC 炉前热分析设备检测铁水蠕化指数和孕育指数, 同时取浇包内碳硫试样和光谱试样经 EMIA-820V 高频红外碳硫仪和 GS1000 直读光谱仪检测铁水成分, 铁水合格后经 KW 全自动浇注机浇注铁水。

蠕化处理作为蠕铁生产过程中的关键环节，通过在铁水中加入蠕化剂来控制石墨在结晶过程中析出为少部分球状石墨，大部分蠕虫状的形态。其次，为消除或减少蠕化剂中镁和稀土元素加入引起的白口倾向，防止自由渗碳体组织的产生，经蠕化剂处理的铁水仍需孕育处理，以此实现较高的蠕化率。

为保证蠕墨铸铁的质量，炉前采用 OCC 双室样杯热分析仪检测铁水蠕化指数与孕育指数，合格后方可上线浇注。在铸件浇注完毕打箱后，采用超声波速度检测法实现对铸件的 100 %检测，工艺要

求蠕铁气缸体声速值范围位于 5200 m/s-5400 m/s 之间，以此保证蠕铁铸件性能的合格可靠。

在我司近期生产的蠕铁气缸体铸件中，通过超声波声速检测发现了低于工艺要求的铸件，经铸件本体解剖取样加工为标准拉伸试棒，同时取试块进行金相组织检测。检测结果如表 1 所示，表明铸件发生了蠕化衰退情况。浇包内的一包铁水一次将浇注 5 箱铸件，其中，铸件 A/B/C 均为不同的包次浇注，包括不同包次浇注的首箱、中间箱以及末箱铸件均出现了蠕化衰退情况。

表 1 蠕化衰退铸件超声波检测数值及理化性能

Tab. 1 Ultrasonic test values and physicochemical properties of vermicularizing fading castings

	超声波声速/m/s	抗拉强度/MPa	石墨分布	箱次
铸件 A	4660	183	片状石墨	第 1 箱
铸件 B	4717	234	片状石墨	第 5 箱
铸件 C	5060	308	片状石墨+蠕虫状石墨	第 3 箱

3 蠕化衰退成因分析

铸件 A 和铸件 B 石墨分布如图 1 所示，表现为蠕化衰退导致的片状石墨分布。为查明造成个别铸件出现蠕化衰退的原因，首先，对浇包内的化学成分进行了追溯，工艺要求化学成分及蠕化衰退铸件 A/B/C 分别对应包次的化学成分如表 2 所示，浇包内铁水浇注前化学成分、温度均符合工艺技术要求。其次，对当日生产的原铁水化学成分、蠕化处理过程进行追溯均未发现异常情况。因此，分析认为浇包内铁水

在浇注之前不存在问题，蠕化衰退情况发生在铁水浇注过程和砂箱内铸件的凝固结晶过程中。

在对铸件 C 瓦口位置超声波速度检测时发现邻近位置的声速分布不均，同时呈现递增趋势，因此在铸件 C 本体取样并间隔相同长度切分 1 号至 4 号四个试样块进行 S 含量检测、石墨分布检测，其中试棒总长 20 cm。取样检测位置如图 2 所示，各位置声速值及 S 含量分布如表 3 所示。因此分析存在某种外增 S 杂质进入了铁水。

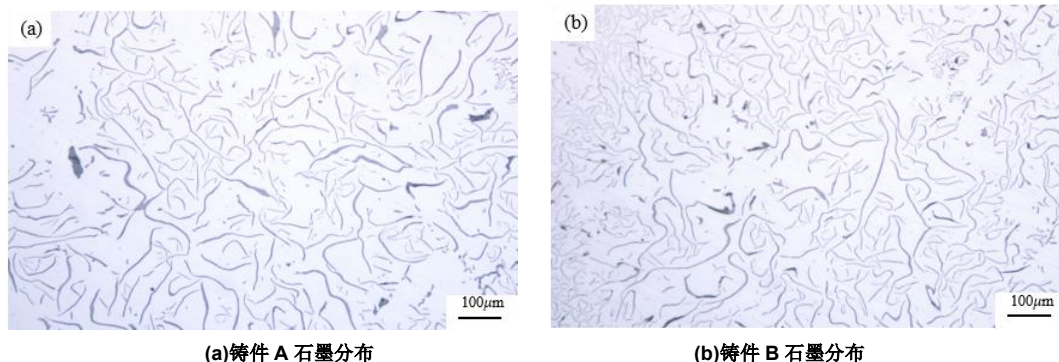


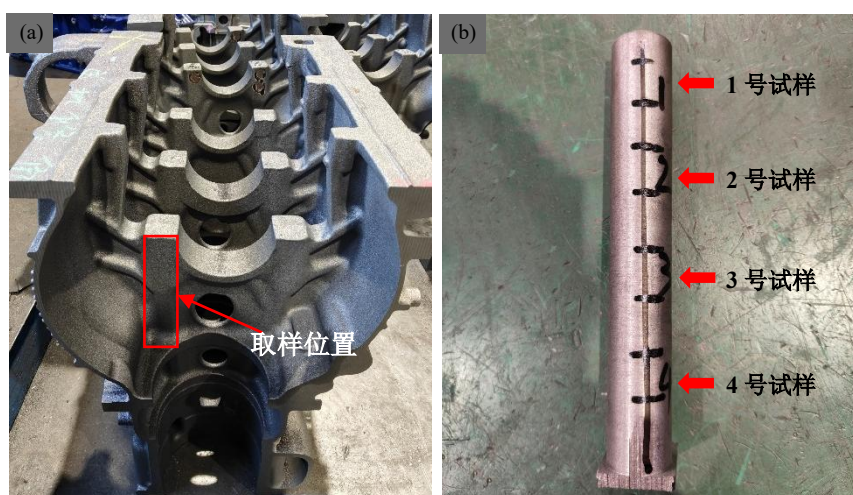
图 1 蠕化衰退铸件石墨分布

Fig.1 Graphite distribution of vermicularizing fading castings

表 2 各元素工艺要求范围及浇包内铁水成分

Tab. 2 Process requirement range of each element and composition of hot metal in ladle

	C%	Si%	Mn/%	P%	S%	Cu%	Sn%	RE%	Mg%
工艺范围	3.60-3.80	1.90-2.20	≤0.70	≤0.04	0.010-0.020	0.50-0.80	0.05-0.15	0.005-0.020	0.005-0.020
铸件 A	3.70	1.98	0.40	0.032	0.0110	0.62	0.085	0.015	0.013
铸件 B	3.68	2.13	0.38	0.022	0.0112	0.73	0.074	0.017	0.016
铸件 C	3.75	2.05	0.45	0.028	0.0108	0.68	0.098	0.018	0.015



(a)铸件 C 本体取样位置

(b)试棒切分试样块

图 2 蠕化衰退铸件 C 本体取样及化分四处取样位置

Fig.2 Sampling of vermicularizing fading casting body and division of four sampling locations

表 3 铸件 C 本体上 1-4 号试样块对应位置的超声波声速值及 S 含量

Tab. 3 The ultrasonic sound velocity value and S content of sample blocks 1-4 on the casting C body

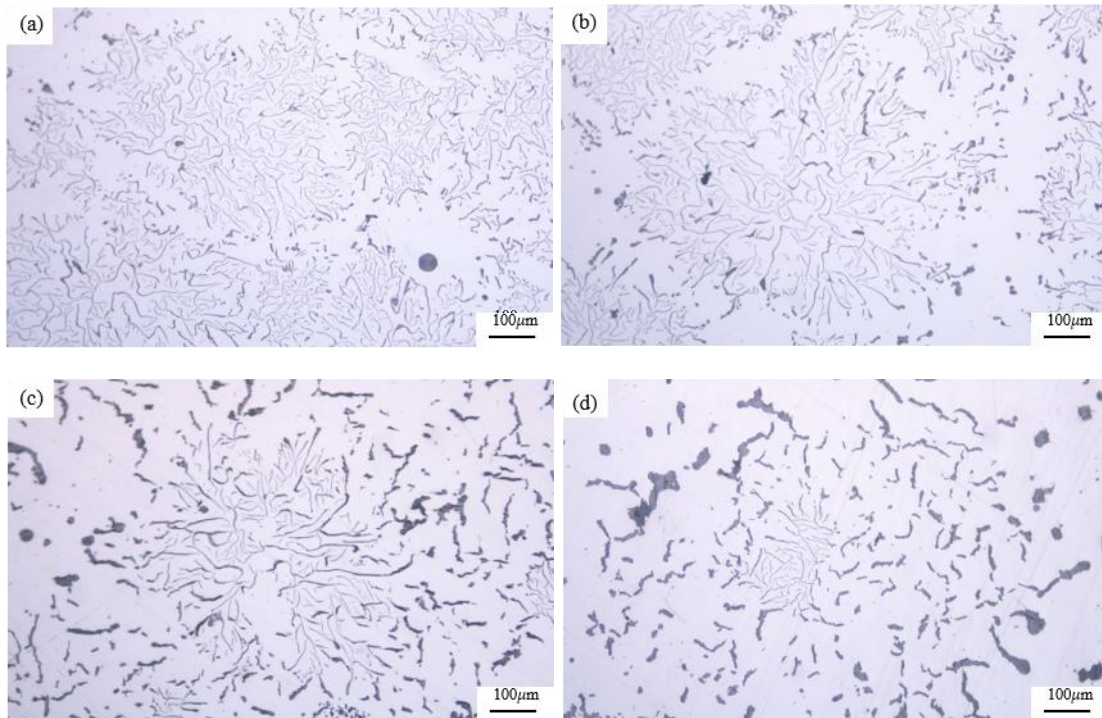
铸件 C	1 号位置	2 号位置	3 号位置	4 号位置
超声波声速值-m/s	5060	5158	5200	5260
S 含量/%	0.0101	0.0098	0.0093	0.0090

如图 3 所示，图（a）至图（d）分别对应 1 号至 4 号试样块的石墨分布。如图 3（a）所示，1 号试样块石墨分布为绝大部分片状石墨+个别球状石墨，表明铁水是在蠕化处理后发生了蠕化元素消耗

情况，且消耗严重；如图 3（b）所示，2 号试样块石墨分布呈现中心为片状石墨，边缘为蠕虫状石墨的形态，表明在石墨生长后期蠕化元素发挥了作用；如图 3（c）所示，3 号试样块石墨分布已出现片状

石墨和蠕虫状石墨各占 50 % 的状况, 表明蠕化元素的含量较 2 号试样块显著升高; 如图 3 (d) 所示, 4 号试样块石墨分布表现为绝大部分蠕虫状石墨+

少量片状石墨, 石墨形态已非常接近正常蠕墨铸铁形态, 表明该位置蠕化元素受到外增 S 的影响已较弱。



(a)1 号试样; (b)2 号试样; (c)3 号试样; (d)4 号试样

图 3 蠕化衰退铸件 C 不同位置的石墨形态分布

Fig.3 Graphite morphology distribution at different positions of vermicularizing fading casting C

综上所述, 在铸件本体 20 cm 长度的试样内存在显著不均匀的蠕化衰退情况, 表明铁水是在浇注过程中进入了 S 元素, 同时外增 S 表现为局部范围影响显著, 并且存在阶梯式分布状况。该迹象表明进入铁水中的外增 S 为含 S 杂质点, 因此在进入铁水后对 Mg 元素的消耗呈现出由高到低的扩散态。

通过对整个浇注过程的分析, 我司蠕铁浇注采用“茶壶包”型浇包, 如图 4 所示, 出铁口位于浇包底部, 包嘴内流道可储存约 140 kg 铁水。经对蠕化衰退铸件浇注时间追溯发现, 铸件 A/B 对应包次浇注前等待时间较长, 此期间内 Mg 元素将被氧化消耗, 这将增大铁水蠕化衰退的趋势^[5]。此时, 浇包包嘴及内部流道未清理干净的含硫釉渣将重新熔于铁水, 从而造成包嘴内发生“铁水回硫”现象。而浇包内部铁水未受影响, 即表现为首箱铸件蠕化衰退。而末箱铸件因浇注前等待时间最长也将导致蠕化衰退的发生。

此外, 铸件 C 对应浇包浇注前等待时间正常, 浇包包嘴及内部流道粘附的釉渣为主要的增 S 来源。由于釉渣粘附于内壁上, 在前期浇注过程中并

未立即冲下, 而在浇注过程中铁水逐渐冲刷中导致其随机随流进入砂箱内部, 进入砂箱内部的杂质随铁水流动至型腔末端终止, 最终表现为铸件局部出现扩散状的蠕化衰退情况, 即导致了同一包铁水浇注下蠕化衰退铸件出现在中间箱次。

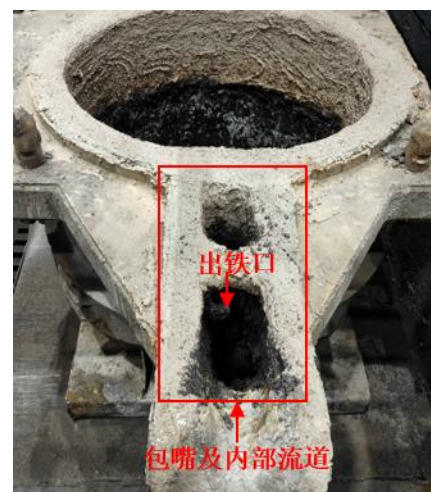


图 4 蠕铁浇注用“茶壶包”型浇包

Fig.4 Teapot ladle for vermicular iron casting

4 结论

(1) 经过对生产过程、蠕化处理参数、原铁水及浇包铁水化学成分的持续跟踪监控, 生产过程稳定受控数据无异常。分析表明, 浇包铁水浇注等待时间较长造成包嘴处铁水回硫, 熔入铁水的 S 将 Mg 元素消耗造成蠕化衰退。

(2) 对于“茶壶包”形状的蠕铁浇包, 铁水从浇包底部流出至包嘴进行浇注, 浇包嘴及内部流道粘附的釉渣受铁水冲刷偶然性随流进入砂箱, 并随铁水流动至型腔末端终止, 在铸件凝固结晶前熔解并消耗周边 Mg 元素, 最终表现为铸件局部阶梯状的蠕化衰退情况。

(3) 针对上述问题, 规定浇注前铁水包的等待时间控制在 15 分钟以内, 同时浇包嘴及内部流道残留釉

渣定期清理干净, 以此解决个别铸件蠕化衰退情况的发生。

参考文献:

- [1] 邱汉良. 蠕墨铸铁及其生产技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2010.
- [2] 张敏之, 鲁栋, 卢彬彬, 等. 蠕墨铸铁柴油机气缸体喂丝蠕化稳定生产工艺[J]. 铸造设备与工艺, 2015, (04): 8-10.
- [3] 王有清, 胡飞, 施华武, 等. 蠕墨铸铁在气缸体铸件上的应用与发展[J]. 现代铸铁, 2010, 30(06): 23-26.
- [4] 刘春雷. 蠕墨铸铁柴油机气缸体的生产工艺[J]. 金属加工(热加工), 2012, (09): 59-60.
- [5] 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, (06): 38-40.