

# EMD 内燃机缸套铸造工艺优化

杨志刚, 张忠腾, 穆彦青, 令振华

(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:** EMD缸套应用于EMD内燃机车, 在发动机总成中与活塞和缸盖共同组成燃烧室, 工况十分恶劣, 其铸造品质的优劣直接影响着整机的大修周期与功率稳定。EMD缸套属于圆筒类复杂结构合金铸铁件, 本文设计并改进了其铸造工艺, 通过呋喃树脂砂和覆膜砂相结合的生产方案, 采用多层浇道工艺、浇道补缩、陶瓷芯骨等措施, 解决了磁粉超标、显微疏松、 $\Phi 8$  mm通水孔偏芯等技术瓶颈。该工艺铸件合格率高, 适合圆筒类复杂结构铸铁件的批量生产。

**关键词:** 内燃机缸套; 铸造工艺; 合金铸铁

EMD缸套应用于EMD内燃机机车, 在发动机总成中与活塞和缸盖共同组成燃烧室, 是气体压缩、燃烧和膨胀的空间, 并为活塞起导向作用<sup>[2]</sup>, 燃烧过程中燃气的最高温度可达2 500 °C左右, 因此缸套的内壁直接受到高温高压燃气作用, 而它的外侧又被冷却水包围, 工况十分恶劣, 故其铸造品质的优劣直接影响着整机的大修周期与功率稳定, 因此优质铸件的研制至关重要。

EMD内燃机车缸套呈筒型结构, 高650 mm, 内径110 mm, 筒体主体壁厚12 mm, 最大壁厚达60 mm, 筒体上、中和下部区域均存在厚大法兰, 中部扫气口位置存在18个 $\Phi 8$  mm通水孔, 三维结构如图1所示。铸件材质采用耐热和耐磨性较高而线胀系数较低的合金铸铁<sup>[1]</sup>, 化学成分见表1。要求 $R_m \geq 286$  MPa, 孔壁及扫气口位置硬度HBW 220~250。A型石墨大于90%, 石墨等级为3~5, 珠光体 $\geq 90\%$ 。铸件满足射线探伤不低于2级, 机加工后做全表面磁粉探伤不低于2级, 不容许存在肉眼可见的疏松等铸造缺陷。

综上, 如何保证厚大法兰处组织致密性; 如何满足全表面磁粉探伤要求; 如何保证18个 $\Phi 8$  mm通水孔的形状与尺寸精度, 是铸造工艺研究的难点。

表1 EMD缸套铸件的化学成分

Table 1 Chemical composition of the EMD cylinder liner castings  $w_B / \%$

C	Si	Mn	Cr	Mo	Cu	P	S
3.1~3.6	1.8~2.4	0.5~1.0	0.3~0.6	0.4~0.7	0.6~1.2	$\leq 0.15$	$\leq 0.15$

作者简介:

杨志刚(1987-), 男, 工程师, 研究方向为铸造材料与工艺。E-mail: yangzhigang1.qs@crrecg.cc

中图分类号: TG244

文献标识码: B

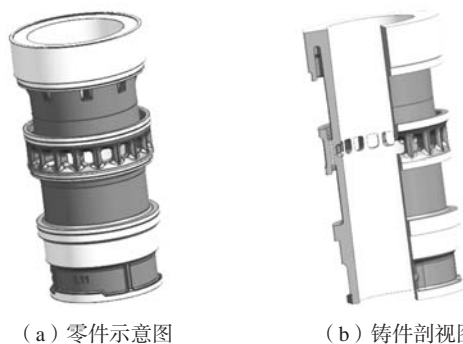
文章编号: 1001-4977(2022)

06-0766-05

收稿日期:

2022-01-18 收到初稿,

2022-02-11 收到修订稿。



(a) 零件示意图

(b) 铸件剖视图

图1 EMD缸套三维结构

Fig. 1 Three-dimensional structure diagram of the EMD cylinder liner

## 1 铸造工艺

### 1.1 工艺设计

针对该缸套产品结构特点, 决定设计顶注雨淋式浇注工艺, 如图2所示。外模采用呋喃树脂砂, 缸套外轮廓采用覆膜砂芯, 18个 $\Phi 8$  mm通水孔砂芯增加 $\Phi 3$  mm钢丝芯骨。鉴于顶部法兰壁厚较大, 故设置2个发热冒口补缩, 且浇注时顶部温度最高, 有利于促进铸件整体的顺序凝固, 减小铸件缩松倾向, 同时利于除气、除渣, 以获得优质铸件<sup>[3]</sup>, 工艺仿真模拟如图3所示。



图2 EMD缸套铸造工艺示意图

Fig. 2 Casting process diagram of the EMD cylinder liner

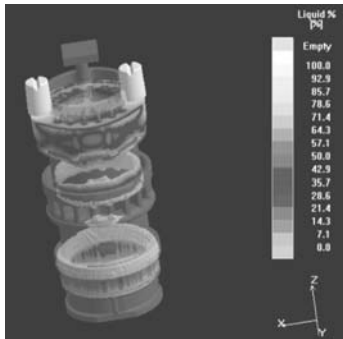


图3 EMD缸套铸造工艺仿真模拟

Fig. 3 Simulation of the casting process of the EMD cylinder liner

### 1.2 存在问题

按照已设计的工艺进行了模具开发与产品试制, 首批样件共计生产4件, 化学成分如表2所示。经加工、解剖和无损探伤等方式验证发现, 样件均有以下问题。

(1) 铸件下部外观不达标。由于该缸套筒身较高, 铁液从上部直接浇入型腔, 对底部型腔冲刷较大, 浇注过程铁液易飞溅, 导致底部位置出现砂孔、

表2 首批铸件的化学成分

Table 2 Chemical composition of the first batch castings

castings							$w_B / \%$	
C	Si	Mn	Cr	Mo	Cu	P	S	
3.27	1.86	0.63	0.44	0.50	0.89	$\leq 0.029$	$\leq 0.084$	

渣孔、气孔等缺陷, 如图4所示。

(2) 扫气口和下部法兰处缩松。高牌号合金铸铁收缩率大, 而扫气口和下部法兰位置属于厚大部位, 无液态补缩通道, 导致凝固过程产生缩松缺陷, 射线和磁粉探伤均不能满足技术要求, 如图5所示。

(3)  $\Phi 8$  mm通水孔偏芯。18个 $\Phi 8$  mm通水孔成形芯虽设置了钢丝芯骨, 但在高温铁液中发生软化变形, 导致通水孔的孔壁厚偏差较大, 如图6所示。

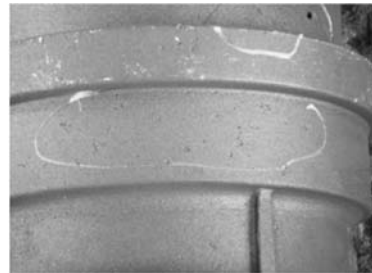


图4 铸件下部外观质量问题

Fig. 4 Appearance quality problem of the lower position of the casting

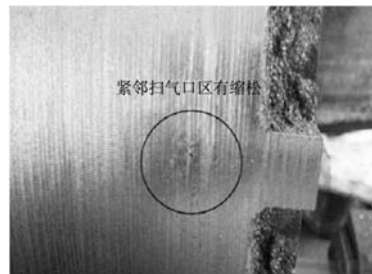


图5 法兰位置缩松问题

Fig. 5 Shrinkage of the flange position



图6  $\Phi 8$  mm通水孔偏芯

Fig. 6 Eccentricity of the  $\Phi 8$  mm water hole

## 2 试验改进

### 2.1 铸造工艺优化

由于该缸套是合金灰铸铁材质, 不能直接使铁液与冷铁接触, 否则会形成D型、E型等过冷石墨, 达不到铸件的验收标准。为此, 采用底注式+扫气口二层浇注方式, 下部法兰采用侧冒口补缩, 扫气口位置设置发热内浇道, 将浇道变成“冒口”, 从而解决了扫气口厚大热节位置无法常规补缩的技术难题, 铸造工艺

改进如图7所示。由于该缸套结构复杂、工艺特殊，故外模采用树脂砂制作，铸件轮廓通过覆膜砂芯和树脂砂组装的方式，砂芯组装如图8所示。

将改进后的工艺进行仿真模拟分析，图9为不同阶段的充型温度场表征，从图中可以看出，充型时，金属液由底部内浇道连续、均匀地注入型腔，充型过程中金属液面活跃，上升平稳，温度较高。模拟结果证

实，该浇注系统避免了铁液的飞溅和对砂芯的持续冲刷，同时有利于氧化渣、气体的上浮和排出<sup>[4]</sup>。

铸件的凝固过程数值模拟结果如图10所示。结果表明，铸件凝固过程中，顶部厚大部位、扫气口法兰位置、下部法兰位置凝固较晚，分别通过顶部发热冒口、发热内浇道和侧冒口的方式实现了顺序凝固，由图10c可见，铸件凝固末期，铸件三个厚大位置的热节均转移至工艺冒口处，尤其扫气口位置发热浇道的设计有效解决了该位置由于结构限制无法放置常规冒口的工艺难题，从而保证了铸件的组织致密性。



图7 铸造工艺改进示意图

Fig. 7 Schematic diagram of the improved casting process

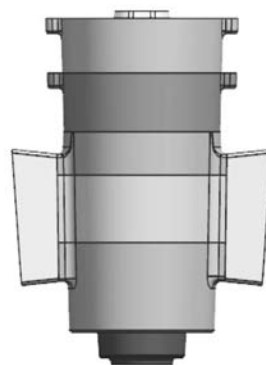


图8 改进后砂芯组装

Fig. 8 Sand core assembly after improved

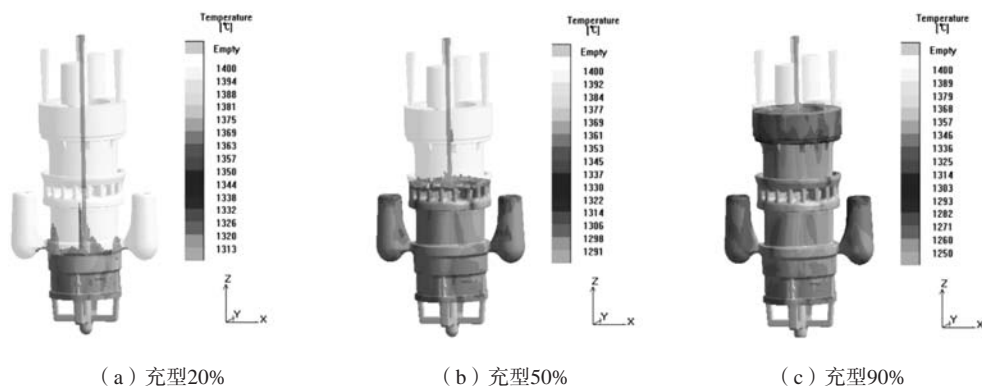


图9 改进工艺后铸件充型过程模拟结果

Fig. 9 Simulation results of the filling process of the casting after improved process

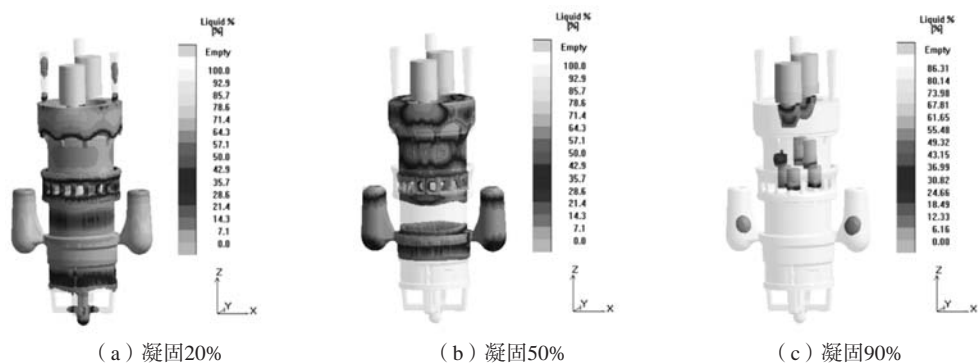


图10 改进工艺后铸件凝固过程模拟结果

Fig. 10 Simulation results of the solidification process of the casting after improved process

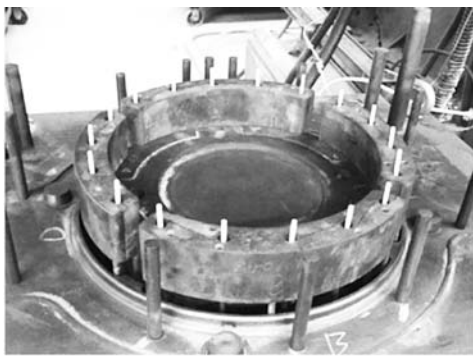
针对18个 $\Phi 8$  mm通水孔偏芯问题,将成形芯钢丝芯骨更换为陶瓷芯骨,提高了砂芯高温时的刚性,陶瓷芯骨应用如图11所示。

## 2.2 试验验证

工艺改进后的铸件,通过了样件和小批量验证,共计56件,合格率达98.2%,化学成分如表3所示。铸件经加工验证,结果表明,该缸套无明显铸造缺陷,全表面磁粉探伤和加工面渗透探伤(图12),结果满

足技术要求,射线探伤各部位均达1级标准。采用陶瓷芯骨后 $\Phi 8$  mm通水孔位置壁厚均匀,满足公差要求,如图13所示。

该缸套材料制备过程中,合理设计成分配比,优选硅锆孕育剂减小铸件白口倾向并通过预处理、倒包随流和浇注随流强效孕育措施,有效控制了石墨形态及尺寸,铸件本体及随炉试棒热处理后的各项指标均达到技术要求,检测结果见表4,实现了该缸套的批量生产。



(a) 制芯放置 $\Phi 3$  mm陶瓷芯骨



(b) 覆膜砂砂芯

图11  $\Phi 8$  mm通水孔成形陶瓷芯骨示意图

Fig. 11 Schematic diagram of new ceramic core bone with  $\Phi 8$  mm water hole



图12 渗透探伤结构

Fig. 12 Penetration inspection structure



图13  $\Phi 8$  mm通水孔孔壁均匀

Fig. 13  $\Phi 8$  mm water hole with uniform hole wall

表3 小批量铸件的化学成分

Table 3 Chemical composition of the small batch castings  
 $w_B/\%$

C	Si	Mn	Cr	Mo	Cu	P	S
3.20	1.84	0.65	0.45	0.50	0.9	$\leq 0.028$	$\leq 0.080$

表4 EMD缸套本体及随炉试棒性能检测结果

Table 4 Performance test results of the body and test rod with furnace of the EMD cylinder liner

项目	抗拉强度 /MPa	石墨 类型	石墨 长度	基体 组织	硬度 HBW
铸件	302	A型	4级	98%珠光体	226
随炉试棒	315	A型	4级	99%珠光体	230

## 3 结束语

(1) 对于筒身较高的复杂缸套类铸件,采用底注式浇注工艺充型平稳,可有效避免因铁液冲刷、紊乱、飞溅等导致的砂孔、气孔、渣孔和磁粉超标等质量问题。

(2) 对于受结构、尺寸等限制无法直接放置冒口的厚大部位,可采用“热浇道”补缩工艺措施,提供补缩通道,满足铸件组织的致密性要求。

(3) 对于细长形砂芯可采用陶瓷芯骨, 可在保证砂芯强度的同时保证高温刚性, 解决钢丝芯骨高温软化变形问题, 实现尺寸的精准控制。

综上, 通过工艺创新, EMD缸套通过了全表面磁

粉探伤、射线探伤检测及车削剥层验证, 本体及随炉试棒的各项性能指标均达到技术要求, 按ASTM标准, 基体中珠光体 $\geq 95\%$ , A型石墨 $\geq 95\%$ , 石墨等级为4级, 产品合格, 实现了批量生产。

#### 参考文献:

- [1] 王泽明. 合金铸铁气缸套的铸造工艺 [J]. 内燃机配件, 2012 (6): 30-32.
- [2] 邓晗, 封雪平, 杨志刚, 等. EMD灰铁活塞铸造工艺研究 [J]. 铸造, 2016 (3): 284-286.
- [3] 廖志东, 封雪平, 潘多龙, 等. NK230合金铸铁活塞铸造工艺设计与优化 [J]. 铸造, 2014 (4): 407-408.
- [4] 李传新, 袁红庆, 刘旭升. 干式缸体水套芯热芯盒缺陷的防止及设计优化 [J]. 铸造, 2017 (3): 306-309.

---

## Casting Process Optimization of Cylinder Liner of EMD Diesel Locomotive

YANG Zhi-gang, ZHANG Zhong-teng, MU Yan-qing, LING Zhen-hua

(CRRC Qishuyan Locomotive & Rolling Stock Technology Research Institute Co., Ltd., Changzhou213011, Jiangsu, China)

#### Abstract:

EMD cylinder liner is used in EMD diesel locomotive. It forms a combustion chamber with piston and cylinder head in the engine assembly. The working condition is very bad. Its casting quality directly affects the overhaul cycle and power stability of the whole machine. EMD cylinder liner belongs to cylindrical alloy iron castings with complex structure. In this paper, the casting process was of the EMD cylinder liner designed and improved. Through innovative casting process, the technical problems such as unqualified magnetic particle flaw detection, micro porosity and 8 mm hole deviation were solved. The casting process had high yield, and was suitable for batch production of the cylindrical iron castings with complex structure.

#### Key words:

diesel engine cylinder liner; casting process; alloy casting iron