

S415 蠕墨铸铁曲轴箱体型芯设计

聂越, 刘兴隆

(成都桐林铸造实业有限公司, 四川成都 611330)

摘要: 介绍了S415蠕墨铸铁曲轴箱体铸件型芯设计案例。型芯采用覆膜砂制造, 辅以铸造涂料; 采用水平射芯方式, 复杂空腔芯全部剖切避免模具抽芯结构; 采用环形锁扣、卡口等方式互相定位, 最后采用铸铁夹板锁定; 满足工艺要求的同时, 在型芯厚度、定位、密封、排气等方面采取多项设计措施。实际生产证明, S415曲轴箱体型芯设计满足铸造工艺需求, 能够减少型砂消耗、保证铸件尺寸精度, 避免砂眼、气孔等缺陷。

关键词: 覆膜砂; 造型; 定位; 轻量化; 密封; 排气

S415发动机是德国内燃机设计机构FEV公司设计的增程式发动机, 该发动机排量为1.5 L, 为水平对置四缸, 结构紧凑、动力强劲、燃油经济性良好, 对混合动力系统适应性强, 适应未来内燃机技术发展趋势。FEV公司针对S415发动机开发样机零件进行全球招标, 我公司抓住机遇, 承接了其中S415蠕墨铸铁曲轴箱体的样件毛坯铸造业务。

1 S415蠕墨铸铁曲轴箱体铸件工艺设计

1.1 铸件情况

S415曲轴箱体铸件为水平对置四缸发动机曲轴箱体部分毛坯, 箱体不含缸体部分, 整体呈现框架结构。内腔前端集成链条室、中心有两个曲轴腔、后端集成齿轮室。箱体毛坯重量21.5 kg, 本体材质需要满足GB/T 26655—2011中RuT380要求, 主要壁厚为 $3.5 \text{ mm} \pm 0.5 \text{ mm}$, 轮廓尺寸为 $380 \text{ mm} \times 222 \text{ mm} \times 121 \text{ mm}$, 几何尺寸精度满足GB/T 6414—2017中CT8级要求; 铸造表面粗糙度满足GB/T 1031—2009中 $Ra \leq 50$; 铸件本体不允许存在气孔、砂眼、粘砂、脉纹、缩孔等铸造缺陷。毛坯如图1。

1.2 S415 曲轴箱铸件工艺设计

1.2.1 浇注系统设计

S415曲轴箱铸件采用全树脂砂组芯底注爬坡工艺。直浇道置于端面, 横浇道置于铸件正下方, 连接分10个内浇道对铸件充型, 经过计算, 设定浇注时间8.4 s, 采用开放式浇注系统, 各截面积比为 $A_{内} : A_{横} : A_{直} = 478 \text{ mm}^2 : 956 \text{ mm}^2 : 1912 \text{ mm}^2 = 4 : 2 : 1$ 。

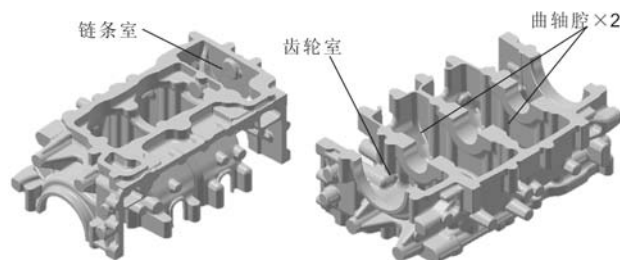


图1 S415蠕墨铸特曲轴箱体铸件
Fig. 1 The CGI crankcase casting of S415

作者简介:

聂越(1983-), 男, 从事发动机缸体铸造技术工作, 主要研究砂型铸造工艺和造型材料。电话: 13540604494, E-mail: nieyuewindows@outlook.com

中图分类号: TG143.49
文献标识码: A
文章编号: 1001-4977(2023)07-0897-07

收稿日期:

2022-08-29 收到初稿,
2022-09-22 收到修订稿。

开放式浇注系统撇渣能力较低,增加60 mm × 60 mm × 22 mm, 15 PPI规格陶瓷过滤器于直浇道下方。为保证足够充型动力,直浇道口距离铸件顶面高度100 mm。浇注系统总设计总量为7.72 kg,浇注系统结构如图2。

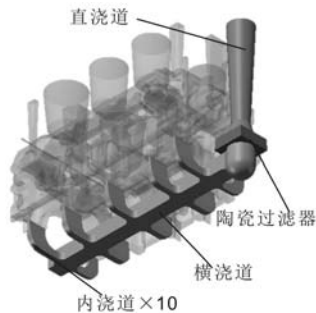


图2 S415浇注系统

Fig. 2 The gating system of S415

1.2.2 补缩系统设计

S415曲轴箱材质为蠕墨铸铁,收缩倾向较大,结合铸件本体结构存在主油管、螺栓搭子、螺栓孔等厚大热节部位,为避免热节部位出现缩松、缩孔等缺陷,在中间螺栓孔上方设置2个排气补缩冒口和4个保温发热冒口;在螺栓孔底部、主油管设置 $\Phi 3$ mm规格长度不等的内冷铁,在孤立螺栓搭子外侧设置宽度15 mm,厚度3 mm长度不等的冷却叶片,冒口总设计重量为13.81 kg,如图3。

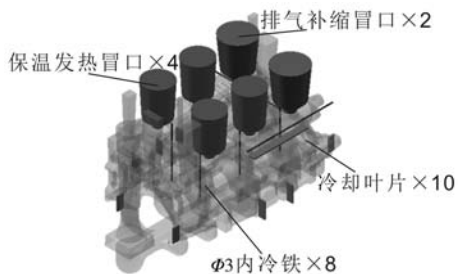


图3 S415补缩系统

Fig. 3 The feeding system of S415

2 S415蠕墨铸铁曲轴箱体型芯设计

2.1 造型材料选择

S415曲轴箱体由较多复杂曲面构成,造型须由多个型芯组芯时相互配合。为满足上述要求,结合铸件重量为21 kg,属于小型铸件,拟采用覆膜砂为造型材料。在原砂一致且树脂加入量一致的情况下,覆膜砂强度较高^[1],耐热性较好,利于铸型几何尺寸的保证从而保证铸件几何精度,且生产过程以及砂处理过程更加环保,因此选择覆膜砂作为S415曲轴箱体型砂。

2.2 整体型芯分型设计

根据产品结构和浇、冒口工艺,将铸型分解为底板型(X1)、直浇道型(X12)、前端型(X2)、链条室芯(X3、X4)、曲轴腔芯(X5、X6、X7、X8)、齿轮室芯(X9、X10)、横浇道整体盖板(X16)、盖板型(X17)、后端型(X11)、悬挂面型(X13、X14)。其中,底板型位于型芯组最下方,承担型芯基础定位功能、形成横浇道底部、内浇道;直浇道型和前端型形成直浇道;曲轴腔芯组、链条室芯组、齿轮室芯组形成铸件内腔;盖板型形成铸件顶面结构、补缩冒口和排气冒口;后端型形成铸件后端面结构;悬挂面型形成铸件悬挂面形状。所有较大空腔型芯均采用剖切设计,便于减重和避免模具抽芯;为保证型芯顺利装配,分型负数设计为1.2 mm(含0.6 mm涂料层厚度)。型芯之间形位关系如图4。

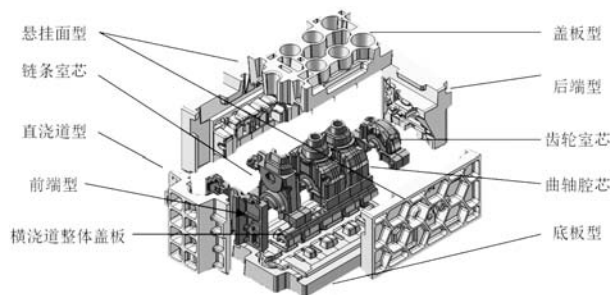


图4 S415型芯爆炸图

Fig.4 The sand mold exploded of S415

2.3 组芯顺序

整体而言,S415曲轴箱体型芯组合按照自下而上、由内向外的顺序进行组合。底板型作为Z方向上所有型芯的定位基准,后组装的型芯对之前的型芯形成锁定效果最终依靠铸铁夹板和螺杆对型芯组进行锁定。主要流程如图5。底板型是型芯组在Z轴方向的定位基准;外部型芯的锁定都直接或间接依靠悬挂面型的卡口、芯头等结构;外部铸铁夹板和螺杆提供最终锁定的刚性支撑。

2.4 型芯定位与密封设计

S415型芯的组装需要同时满足可靠、准确的要求,组装完成后实现配合紧密,间隙适中的效果;型芯采用覆膜砂制造,在满足减少型砂消耗的同时保证组装好的型芯组浇注时密封良好,不发生跑火问题。具体设计如下:直浇道型和前端型设置凹凸配合避免铁液从直浇道型腔接缝泄露(图6),底板型设置插入式防水堤坝(图7);底板型与悬挂面型、后端型设置台阶芯头,与链条室芯、曲轴腔芯、齿轮室芯以凹凸

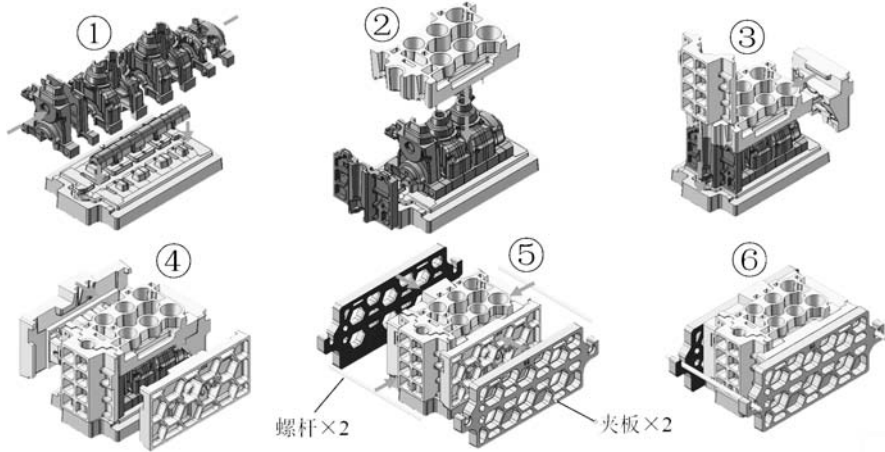


图5 S415型芯组装流程
Fig. 5 The S415 sand core assemble

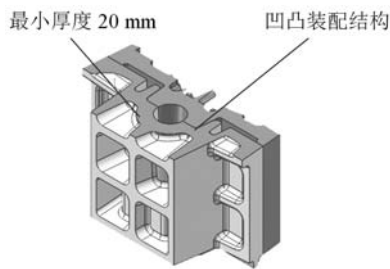


图6 直浇道型结构
Fig. 6 The sprue sand mold structure

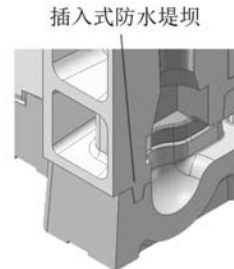


图7 防水堤坝结构
Fig. 7 The leakproof wall structure

芯头定位(图8)链条室芯等内腔芯为分体设计,以避免模具增加抽芯机构,腔体芯配合采用突出截面7×7防漏随形卡槽实现定位和密封,腔体芯组之间采用深

度12 mm半圆凹凸芯头定位(图9)。横浇道整体盖板内腔芯下部穿过,与底板型配合对横浇道形成密封,避免铁液冲刷内腔芯接缝导致的型芯位移和砂粒脱落

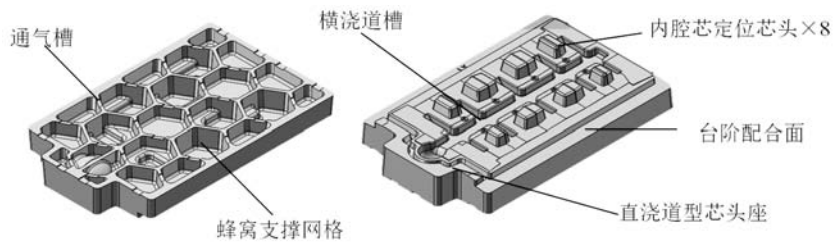


图8 底板型结构
Fig. 8 The baseplate sand mold structure

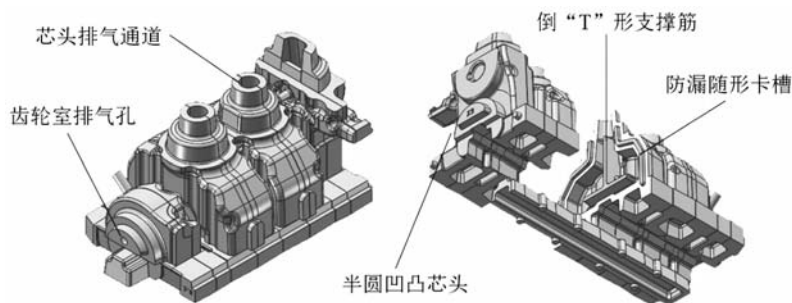


图9 内腔芯结构
Fig. 9 The cavity sand core structure

砂眼（图9）。悬挂面型与直浇道型、后端型以台阶卡口结构实现定位和密封功能，台阶卡口设计最小厚度

15 mm（图10）。

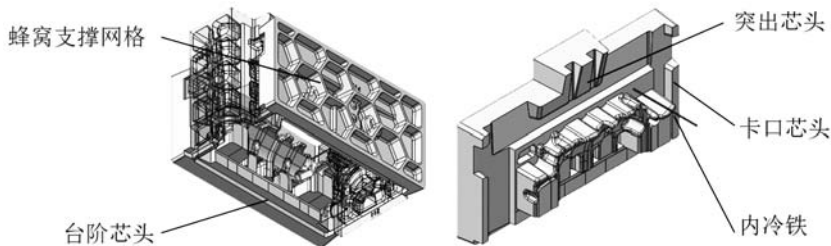


图10 悬挂面型结构

Fig. 10 The suspending surface sand mold structure

2.5 型芯轻量化设计

覆膜砂为干砂，流动性良好，制芯方式为气体射砂，因此可以获得结构复杂精度良好的型芯^[2]。在无箱造型条件下，针对覆膜砂型芯的设计包含型芯厚度和结构框架两个方面。

2.5.1 型芯厚度设计

型芯主体核心部分包含铸件型腔面、浇注系统和补缩系统面、型芯装配面（芯头）。合理的型芯厚度一方面可以节约型砂消耗，另一方面要保证铸型在充型、冷却过程中的稳定性，从而获得轮廓清晰形状完整的铸件。S415设计直浇道型和前端型共同构成直浇道腔，单件浇注总设计重量42.98 kg，全部高温铁液需要依靠直浇道引导，为保证浇注过程铁液不泄露，浇道处最小型壁厚度为20 mm（图6）；横浇道置于铸件下方，通过铁液重量为40.12 kg，设计远端最小型壁厚度为18 mm；铸件材质为蠕墨铸铁，具有部分球墨铸铁的凝固特点，其余型腔悬挂面型、后端型、盖板型部分设计厚度最小15 mm；链条室芯、曲轴腔芯等内腔芯形成铸件关键部位，砂芯浇注过程无法提供额外支撑，型壁设计最小厚度为20 mm；型芯配合面（芯头）需要提供型芯组装时必要的支撑，设计抗压型壁面最小厚度为10 mm，抗弯面最小厚度为15 mm（图10）。

2.5.2 型芯框架设计

型芯框架是型芯主体的必要支撑，合理的型芯框架一方面可以实现夹具对型芯的必要夹持，预防涨箱、抬箱等因为型芯位移导致的缺陷，同时可以尽量减少材料消耗，还可以实现充分排气的功能。S415型芯框架主要设计如下：直浇道型腔为两个半圆构成，外侧直浇道型需要承受铁液浇注时承受浇道压力，因此采用矩形框架，在直浇道中心位置设置一条纵向梁以直接支撑直浇道，同时纵向梁构成整体框架的中心以对直浇道型整体均匀支撑，框架单元为正方形，最

小厚度为10 mm，框架间距55 mm，与夹具充分接触，如图；底板型、后端型、悬挂面型主要功能是浇注时在夹具作用下承受铁液压力，保持整体形状可靠，因而边缘部分设计最小厚度为10 mm边框，中间分布最小厚度7 mm，外接圆半径97 mm的蜂窝支撑网格（图11）。盖板型背部需要承担排气冒口、保温冒口安装、排气补缩冒口成型功能，因此在前端方向和中部分设置减空，以周边框架结构保证整体稳定性，同时减少型砂消耗；链条室芯、曲轴腔芯需要独立承受浇注和凝固时铁液压力，除了保证20 mm型芯厚度，在中部分增设倒“T”形支撑筋以增加稳定性（图9）。盖板型设置有三个芯头座，对应悬挂面型与后端型上部凸出芯头（图12）。

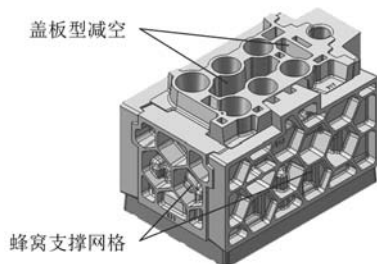


图11 部分型芯结构

Fig. 11 The sand core structure

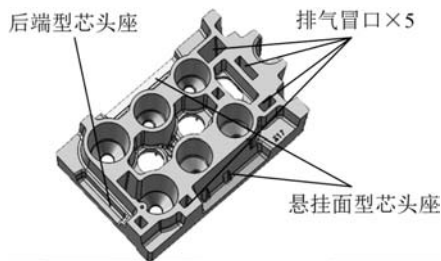


图12 盖板型结构

Fig. 12 The cover board sand mould structure

设计完毕型芯质量不同，具体数值如表1。型芯总设计质量为51.3 kg，砂铁比为51.3 : 21.5=2.39。

表1 S415型芯设计质量
Table 1 The weight of mold and core

名称	编号	质量/kg
悬挂面型	X14	6.24
	X13	6.7
齿轮室芯	X9	0.55
	X10	0.77
盖板型	X17	9.49
前端型	X2	2.22
直浇道型	X12	4.01
后端型	X11	3.86
曲轴箱芯	X8	1.43
	X7	1.38
	X6	1.41
	X5	1.4
链条室芯	X4	0.97
	X3	1.41
横浇道盖板	X16	0.73
底板型	X1	8.71

注：覆膜砂密度按照1.55 g/cm³计算。

2.6 型芯排气设计

由于型芯在浇注时受到铁液高温作用，其中粘剂分解产生大量气体，容易在型芯背面形成高气压，

导致侵入性气孔^[4]。针对S415型芯排气主要措施如下：S415覆膜砂本体型芯较一般树脂砂薄40%~60%，通过降低厚度提高整体透气性；S415用覆膜砂原砂粒度为40/70目，较大的砂粒间隙配合合理的涂料，可以在保证铸件光洁度的情况下进一步增加透气性，所用覆膜砂TLNY-2参数如表2；底板型和浇注平板接触，框架网格与浇注平板形成密闭空腔，浇注时气体若无法排出，导致气体进入铁液形成气孔^[3]，需要在网格框架上开设通气槽，通气槽为20 mm×2.5 mm扁平状，避免对蜂窝框架产生严重的切割作用，同时实现每个网格单元可以直接或间接同外界大气联通，如图8。链条室芯、曲轴腔芯在上部设置中空芯头，通过盖板型中部减砂与大气联通^[5]以实现排气，齿轮室芯无法通过盖板型排气，在侧面芯头设置Φ8 mm通气孔，通过芯头穿过后端型与大气联通排气，如图9；铸件浇注时型腔内气体主要从上部排气冒口排出，根据冒口排气面积与阻流截面积关系 $F_{\text{冒}} \geq \mu F_{\text{阻}}$ ($\mu=1.5\sim 3$)，S415铸件本体高度仅121 mm，铁液静压强较小，比例系数取上限；顶部设计有5个矩形排气冒口和两个排气补缩冒口，截面积1 703.63 mm²，为阻流面积的3.5倍，以实现充分排气（图12）；直浇道型、悬挂面型、后端型均通过夹具的通气窗与大气直接连通以降低浇注时背型气压^[4-8]。

表2 TLNY-2覆膜砂性能参数
Table 2 The parameters of TLNY-2

型号	粒度/目	集中度/%	灼减量/%	发气量/(mL·g ⁻¹)	热态抗弯/MPa	常温抗弯/MPa	熔点/℃
TLNY-2	40/70	≥80	<2.0	≤12	>1.5	≥2.5	102±3

2.7 射芯模具布置

为实现良好制芯效果，所有型芯排布采用水平制芯方式，即型芯水平排布，最大截面垂直于射砂方向，射砂方向垂直向下的方式。水平制芯方式可以最大限度缩短射砂距离，保持覆膜砂进入型腔时的动能，实现模腔被覆膜砂充满，同时在射砂嘴分布位置上享有最大便利，以保证制芯效果。S415砂芯较多，为了兼顾模具和设备效率，将不同型芯置于两个模具内，采用2台射芯机和2组配套模具即可完成所射芯工作。排布设计如图13。

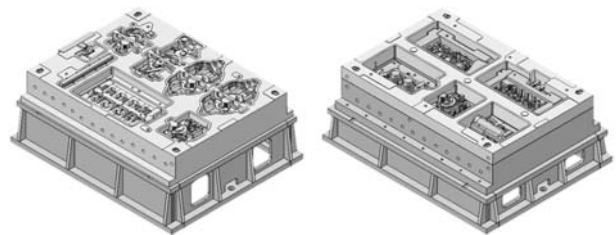


图13 射芯模具布置

Fig. 13 The distribution of the mold

3 S415蠕墨铸铁曲轴箱体型芯应用情况

3.1 制芯和组芯情况

S415型芯整体制芯工艺分为两类，一类是以悬挂

面型、盖板型、直浇道型、后端型的厚大型芯；一类是底板型、曲轴腔芯、链条式芯、齿轮室芯、横浇道整体盖板、前端型（小）的轻薄型芯。厚大型芯整体刚性较好但是受热缓慢，轻薄型芯则反之，合理分布型芯以实现减少模具数量和承载设备数量，同类型芯采用特定制芯工艺保证制芯质量^[2, 9]，平衡制芯温度和时间参数实现均衡生产，制芯工艺如表3。

表3 S415型芯制芯工艺参数表
Table 3 The core making process parameters

型芯名称	射芯压力/MPa	射砂时间/s	固化温度/°C	固化时间/s
悬挂面型 (X14、X13)、盖板型、直浇道型、后端型		10	250 ± 10	
底板型、曲轴腔芯 (X5、X6、X7、X8)、链条式芯 (X3、X4)、 齿轮室芯 (X9、X10)、横浇道整体盖板、前端型	0.5	8	240 ± 10	160

生产实践结果表明,制芯工艺参数设计合理,能够获得质地紧实、轮廓清晰、形状完整的型芯,如图14。型芯按照工艺设计组装,过程顺利,安装可靠,组成型芯组结构紧凑、稳定,便于进行浇注生产管理,如图15。

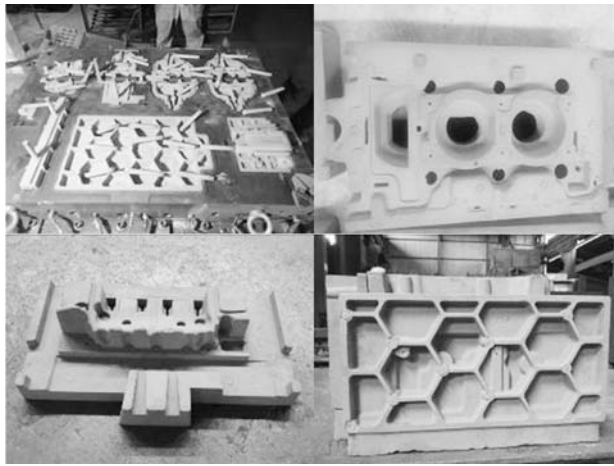


图14 型芯实物
Fig. 14 The sand mold and core

3.2 浇注生产和品质情况

采用S415型芯组装后进行生产浇注,实际浇注时间为8~10 s,浇注过程平稳,浇注过程无跑火、呛火,浇注完成后冒口有明显缩陷,能够对铸件热节部位进行有效补缩。

铸件经过冷却、飞边打磨、抛丸清理等工序,最终外观检验表面粗糙度 R_a 为25~50,外观光洁,无粘砂、缺料等缺陷;解剖显示铸件组织致密,无缩孔、疏松等缺陷;铸件经过扫描检测,显示尺寸精度满足CT8级要求(图16);气孔缺陷以及整体质量水平在控

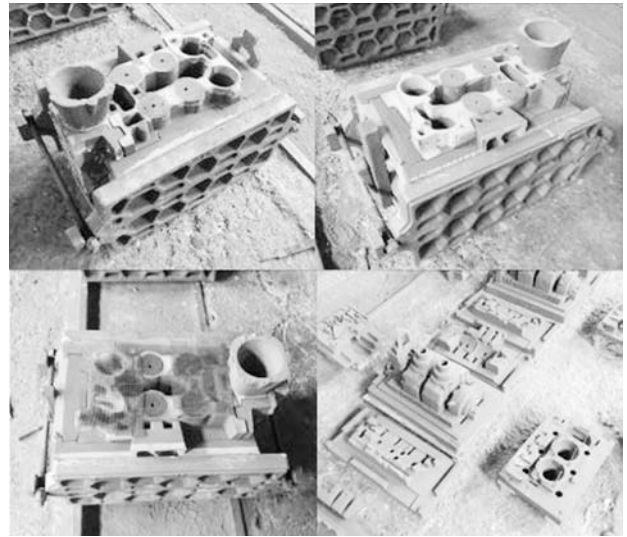


图15 组芯实际情况
Fig. 15 The core assembly

制范围内,品质统计数据如表4。

表4 品质统计数据
Table 4 The statistic data of quality

批次	浇注数量	气孔数量	其他缺陷	气孔率/%	合格率/%
I	4	1	1	25.0	50.0
II	11	0	2	0.0	81.8
III	12	1	2	8.3	75.0
IV	24	0	1	0.0	95.8
V	25	0	1	0.0	96.0
VI	50	0	1	0.0	98.0
VII	49	0	0	0.0	100.0
VIII	50	0	1	0.0	98.0

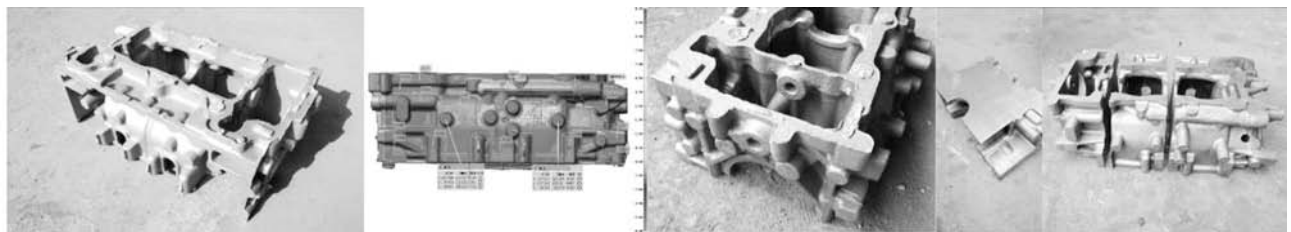


图16 S415铸件品质情况
Fig. 16 The quality of S415 casting

4 结束语

采用覆膜砂作为造型材料，能满足S415蠕墨铸铁曲轴箱体铸体较为严格的特殊特性要求，在表面质量、砂眼减少、尺寸精度、型砂节约等方面表现良好，能够更大限度达成铸造工艺设计意图。覆膜砂射芯造型是未来批量化生产中、小铸件理想的造型材料。覆膜砂本身性能优异，在型砂填充、型芯强度等方面可以满足要求，但是应该注意型芯减重、型芯排气、支撑结构、定位密封等，追求极限砂位情况下的

工艺可靠性，用较少的型砂完成造型。

在采用覆膜砂射芯实际生产时，需要结合型芯自身厚度、结构等特点考虑覆膜砂型芯模具排布、制芯工艺以及生产组织，保证射芯质量的同时满足较少占用设备、生产组织简便的要求，做到不同工位节拍一致，实现均衡生产。S415蠕墨铸铁曲轴箱体铸件采用全覆膜砂造型是批量化生产的最优解，在设备数量、砂铁比、工艺可靠性、操作简洁性以及产品品质均取得良好效果，其中型芯设计细节可以独立推广。

参考文献：

- [1] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局，中国国家标准化管理委员会. 铸造用覆膜砂：JB/T 8583-2008 [S]. 北京：机械工业出版社，2008.
- [2] 李远才. 覆膜砂及制型（芯）技术 [M]. 北京：机械工业出版社，2007.
- [3] 朱彦方. 灰铸铁侵入性气孔的形成机制及消除对策 [J]. 铸造工程，2009（5）：19-21.
- [4] 巩建强，曹峤. 覆膜砂铸件气孔问题的成因与防治 [J]. 铸造，2021，70（1）：90-93.
- [5] 刘增林. 汽车发动机灰铸铁缸体立浇工艺气孔缺陷防止 [J]. 铸造，2014，63（7）：721-725.
- [6] 梁锐，潘艳平，刘春玲，等. 覆膜砂制备工艺的研究 [J]. 铸造，2010（5）：506-509.
- [7] 聂越，赵发辉，苏鹏. DK4缸体毛坯气孔缺陷的消除 [J]. 铸造，2015，64（11）：1142-1144.
- [8] 苏鹏，雷能彬，聂越. DK4缸体冒口优化研究 [J]. 铸造技术，2018，39（10）：2257-2259.
- [9] 张江，王文忠，轩辕思思. 覆膜砂在铸造生产中的应用 [J]. 现代铸铁，2020（5）：61-64.

Mold Core Design of S415 CGI Crankcase Casting

NIE Yue, LIU Xing-long

(Chengdu Tonglin Casting Industrial Co., Ltd., Chengdu 611330, Sichuan, China)

Abstract:

The design case of S415 vermicular graphite cast iron crankcase casting core is introduced. The core is made of precoated sand, supplemented by mold coating. The horizontal core shooting mode is adopted, and the complicated cavity cores are all cut to avoid the core pulling structure of the die. The annular lock catch and bayonet are used for mutual positioning, and finally the cast iron splint is used for locking. While meeting the process requirements, a number of design measures were taken in terms of core thickness, positioning, sealing, exhaust, etc. The actual production has proved that the design of S415 crankcase body core meets the requirements of casting process, can reduce the consumption of molding sand, ensure the dimensional accuracy of castings, and avoid defects such as sand inclusion and blowholes.

Key words:

precoated sand; molding; positioning; lightweight; leakproof; exhaust
