

柴油机气缸体的消失模铸造工艺

王新节

(浙江大学城市学院, 浙江杭州 310015)

摘要: 介绍了用消失模铸造工艺生产直列四缸柴油发动机气缸体的工艺过程。包括泡沫模样的制作、模具的设计、泡沫模样的组装、型砂的选择及造型、浇注系统的设计等几个方面。与传统的普通砂型铸造相比, 其铸件单体重量减轻约10%, 铸件重量精度达到MT7级, 铸件尺寸精度达到CT8级。

关键词: 消失模铸造; 气缸体; 模样簇

中图分类号: TG249.6 **文献标识码:** B **文章编号:** 1001-4977 (2011) 10-0962-05

Lost Foam Casting Process for Diesel Engine Cylinder Block

WANG Xin-jie

(City College of Zhejiang University, Hangzhou 310015, Zhejiang, China)

Abstract: The lost foam casting process for the cylinder block of inline four-cylinder diesel engine was presented, including the manufacture of foam patterns, design of dies, assembling of the patterns, selection of molding sand, design of gating system, and so on. Compared with the conventional sand casting, the weight of a single casting was reduced by 10%. Its weight accuracy reached MT7, and the dimension accuracy reached CT8.

Key words: lost foam casting process; cylinder block; pattern cluster

柴油机是将燃料柴油燃烧所产生的化学能转化为机械能的机器, 柴油机气缸体(图1)在整机的构造中起着主体骨架的作用, 其结构强度和整体刚度要能够满足柴油机整机零部件的组装精度和柴油机正常工作时其各种性能稳定输出的需要。传统的砂型铸造具有成本低, 原材料资源丰富等诸多优点, 一直作为柴油机气缸体铸件的主要生产方式。为了消除普通砂型铸造带来的粉尘污染严重和劳动强度大等诸多不利因素, 人们采用覆膜砂和树脂砂冷芯盒来制造型芯, 采用环保除尘效果良好的高压造型机来制作铸型, 如图2所示, 已经取得了较好的效果。但是能够经过简单加工就可以用来造型和制芯的砂子, 通常指的是天然沉积砂和海砂, 这些用于铸造的原材料往往是不可再生的, 或再生砂的利用率较低。目前普通砂型铸造用的型砂淘汰率在15%左右, 而芯砂的淘汰率更高。

本文重点介绍柴油机气缸体消失模铸造工艺的设计方法: 即采用人工合成的可膨胀聚苯乙烯珠粒来发泡成形柴油机气缸体和浇注系统的泡沫模样簇。用单一的干砂进行造型, 无须任何添加剂, 而且干砂的再利用率在95%以上。将泡沫模样簇浸涂涂料并烘干(图3)后在单体砂箱内进行造型。单一的干砂流进气缸体内、外部型腔充当传统砂型铸造工艺中的砂芯、

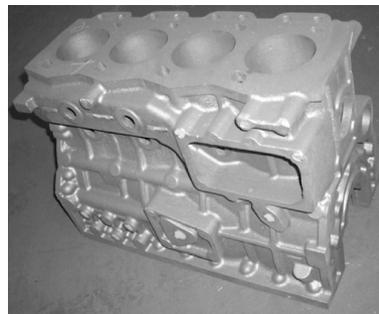


图1 气缸体铸件

Fig. 1 Cylinder block casting

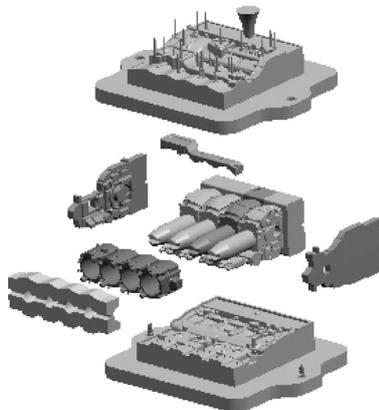


图2 造型及砂芯组装

Fig. 2 Moulding & sand core assembly

收稿日期: 2011-05-04收到初稿, 2011-07-11收到修订稿。

作者简介: 王新节 (1966-), 男, 教授, 主要研究方向是绿色铸造成形工艺。E-mail: xbgdzzywxj@126.com

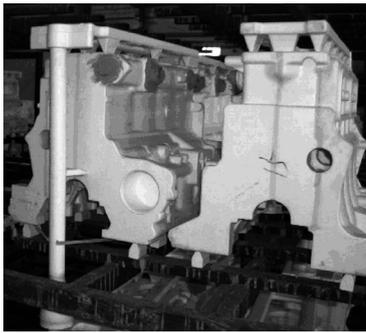


图3 泡沫模样簇浸涂并烘干

Fig. 3 Coating and drying of foam pattern cluster



图4 泡沫模样分型

Fig. 4 Assembly of foam pattern

铸型。由于气缸体内外的单一干砂是自然贯通为一体的，故避免了传统砂型铸造工艺中常出现的型芯配合不当而造成的挤砂缺陷。最后对铸型抽取负压，在铸型保持一定负压的状态下进行浇注成形。

1 产品泡沫模样的制作

1.1 产品泡沫模样的分型方案

柴油机气缸体的内部结构与外部形状较为复杂，而且主要壁厚仅为5 mm，这些几何特征决定了产品泡沫模样的分形与组装方案，也对泡沫材料的粒径进行了限制。模样的分形与组装方案主要是考虑到泡沫模样的脱模便利性，而限制泡沫材料的粒径主要是考虑到泡沫模样的成形特性，即模样的结构刚度和强度。模样的分形与组装是采取四片泡沫子模样的发泡成形制作方式，如图4所示。先沿着直立式四个缸筒的中心线方向将整个缸体一分为二，成为一次子模片；再分别将凸轮轴孔一侧的一次子模片和机油滤清器一侧的一次子模片各自分为两个二次子模片。二次子模片选用的EPS原始珠粒粒径为0.2 mm，由于在预发泡环节，EPS原始珠粒会在发泡剂戊烷的作用下发生膨胀，其体积会增大，可以获得直径为0.6~0.9 mm的预发珠粒，在缸体的基本壁厚空间内至少可填充5~8个珠粒，能够有效地保证模片的密度、刚度、强度和模片的表面质量。此珠粒再经过适当的熟化处理，降低预发珠粒内部的真空度，让预发珠粒具备良好的弹性和流动性，用于制取产品的泡沫模样。

1.2 泡沫模样的模具设计

组织生产时，要单独对这四个二次子模片（如图4所示）进行发泡模具型腔的结构设计和模具制造。模具型腔的设计，将能够通过简单的两开模取出模片的模具型腔放在一副型板框内，这样可以提高制模效率，例如，凸轮轴孔内壁结构二次子模片和机油冷却器外壁结构二次子模片的模具型腔放在同一模具型板内进行发泡成形二次子模片。而对于凸轮轴孔外壁结构二次子模片和机油冷却器侧主壳体二次子模片的成形则需要单独构造模具型腔。考虑到这两个子模片是缸体

外壳体的主要构成部分，都有曲轴箱内部内凹式强化辐板结构，为了能方便地让两个子模片在各自的模具中一次性发泡成形，需要在曲轴箱内部内凹式模片成形的凸模上设计抽芯机构。具体做法是将每一个缸筒所对应的曲轴箱的凸模结构都分为三个部分：中间的凸模部分与两侧的活块部分。中间的凸模部分参与成形又与下模主模板固连在一起，开模时随下模板一起脱离泡沫模片，从而为其两侧的活块留出足够的空间，以方便两侧活块沿与开模方向相垂直的方向取出来，最终使得模片顺利脱模。这样通过优化设计泡沫模具的型腔结构，可以减少对柴油机缸体产品结构的修改。既保持了其固有功能型结构，又避免了因工艺补贴过多而带来的铸件重量增加和降低柴油机的整体工作性能。

1.3 泡沫模样的组装工艺

柴油机缸体泡沫模样共分四个独立的子模片，它们在完成自身的发泡成形和模片之间的组装之前，必须进行充分的熟化处理。可以通过自然时效或人工时效来完成。自然时效大约需要144 h，自然通风即可，有条件的地方，可以考虑建造透光玻璃温室熟化仓，充分利用太阳能，缩短熟化周期，其优点是模片熟化充分，铸件表面质量好，不足之处是占用空间较大；人工时效大约需要12 h，在熟化室内需对模片进行强制热风并附加除湿处理装置。热风的热源可以来自于蒸汽管道的辐射热，焦炭炉加热管道的热辐射，也可以通过电加热或天然气加热。热风的温度以35~45℃为宜，有条件的地方可以采用一次性通过式强制热风并附加除湿处理装置。其优点是模片熟化周期短，生产效率高，占地面积小。不足之处是模片熟化不彻底，容易对铸件的表面粗糙度及内在质量带来不利影响。

熟化后的四个二次子模片组装成产品模样时要考虑五个方面的问题：一是组装组成物；二是组装顺序；三是组装操作的生产方式；四是组装用胶；五是组装的后处理。考虑到柴油机缸体上的机油冷却器的内部空腔呈狭长结构且相对独立，在后续的铸型填砂振实时易发生局部塌箱缺陷，在保证柴油机缸体实现整体

单一干砂造型的同时,对机油冷却器局部辅以树脂砂芯成形工艺,可以采用热芯盒或冷芯盒来制作机油冷却器砂芯。为了获得更好的铸件内腔结构,用石墨粉涂料对其处理后并烘干,然后用于组装产品模样。另外,为了便于机油冷却器砂芯在产品模样中的准确定位和在后续的浇注过程中能够顺利地将砂芯在高温下产生的气体排放出去,采用了加长砂芯芯头的优化设计,收到了良好的效果。这样组成物就由4个子模片和1个机油冷却器砂芯共同构成;组装顺序是先将4个二次子模片两两组合成两个一次子模片,然后再将两个一次子模片进行胶合以获得整体模样。在进行机油冷却器一侧的两个二次子模片组装时,要将机油冷却器树脂砂芯安装定位在这两个二次子模片相应的功能位置上;组装操作的生产方式可以采用全自动化、半自动化或人工组装方式,具体情况要视生产规模而定。但无论采取哪一种方式,胶合模片时辅之以简易靠模都是必要的,这样可以提高组装效率和组装质量;组装用胶可以采用冷胶并辅之以胶带粘合,也可以采用热熔胶。通常情况下,手工作业或半自动化作业时,用冷胶并辅之以胶带粘合的方式居多,也有通过机械手控制冷胶涂覆胶印曲线并实现自动化胶合工艺的。热熔胶胶合工艺适于大批量自动化生产;组装的后处理主要指的是修复漏胶部位和实现胶合模样的时效强化,一方面防止铸件产生夹杂缺陷,另一方面确保模样在后续运输及造型操作时具备足够的刚度与强度。

2 型砂的选择及造型工艺

2.1 型砂的选择

消失模铸造用型砂为单一砂,从砂源来分,可以分为天然砂和人工砂两大类。天然砂以石英砂为主,大体上可分为天然海砂和天然沉积砂两种。人工砂因其成分不同而可分为人工宝珠砂和人工镁橄榄石砂两种,其中人工宝珠砂又称之为陶粒。目前在消失模铸造行业,因铸件材质、铸件结构的复杂程度、铸件型腔的最小空间尺寸以及铸件的规格大小不同,各企业所选用的型砂种类和规格有较大区别。海砂因其资源丰富、加工处理简单、具有较好的角形系数、含泥量低、良好的充型流动性、较高的熔点和价格低廉等诸多因素而被众多铸造企业青睐,尤其是有色合金铸件和铸铁材质铸件的生产企业采用的较多。对于浇注温度要求较高的铸钢件则是采用人工宝珠砂和人工镁橄榄石砂的较多。宝珠砂因其粉尘少和流动性好而被一些产品内腔极为复杂而且产品的附加值较高的生产企业所选用。镁橄榄石砂在高锰钢铸件的生产中应用的较为成功,而且其高目数的砂粒在铸钢件的涂料配比中作为耐火骨料较理想。当然也有的铸钢件生产企业出于成本的考虑使用海砂和石灰石砂的,同时要辅之

以较厚的泡沫模样涂料层来组织生产,以防粘砂。这几种常用的型砂主要性能对比见表1。柴油机气缸体消失模铸件选用目数为70/140目的天然海砂较为理想。实践中发现,如果型砂的砂粒过于粗大,尽管其透气性提高了,对降低消失模铸造所特有的碳残留有利,但是其紧实度及其伴随而来的整体耐火度则有所下降,尤其是对内腔较为复杂的柴油机缸体类铸件弊大于利,往往会造成粘砂缺陷,如图5所示。

表1 几种常用的消失模铸造用型砂

Table 1 Several common use molding sand for lost foam casting

型砂类别	密度 $/(g \cdot cm^{-3})$	耐火度 $/^{\circ}C$	SiO ₂ /%	Al ₂ O ₃ /%	MgO /%	Fe ₂ O ₃ /%
海砂	2.65	1 670	98.72	1.13	0.04	0.05
宝珠砂	2.90	1 820	15.00	70~85		
镁石砂	3.27	1 760	40.00	0.35	48.14	8.78

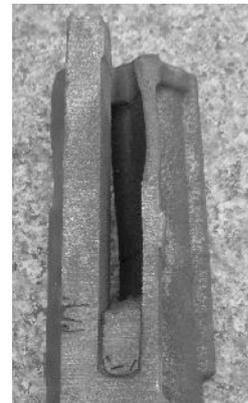


图5 粘砂结疤缺陷

Fig. 5 Scab defect

2.2 铸型填砂及紧实工艺

消失模铸造工艺铸型的填砂可以分为三个连续的阶段:填充砂箱底部位于产品泡沫模样下面的一层垫砂,一般为150 mm左右,用来支撑整个铸型金属液重量和固定泡沫模样簇,同时亦是铸型构成的一部分,如图6所示;紧密填充泡沫模样周围并与泡沫模样高平齐的这部分型砂是铸型形成的主体部分,对铸件成形质量起着关键作用,能够起到外部铸型与内腔砂芯的作用,由于这部分型砂紧密地包围在铸件周围,受金属液的机械冲击、热作用和化学腐蚀最为严重,因此,这部分型砂是砂处理的重点处理对象,也是补充新砂添加量的重要参考数据之一。填充位于泡沫模样顶部的盖砂,盖砂主要用来支撑直浇道、浇口杯和负压铸型形成系统的塑料薄膜,同时兼起压铁的作用以防止涨箱。考虑到砂处理操作的便利性和铸造成本等因素,通常选用统一规格的造型砂。型砂的充填设计为雨淋式间断加砂并伴之以持续振动的造型方式,这样有利于型砂在砂箱内分布均匀,有利于减轻型砂对泡沫模样簇的冲击力,确保实现理想的紧实状态。

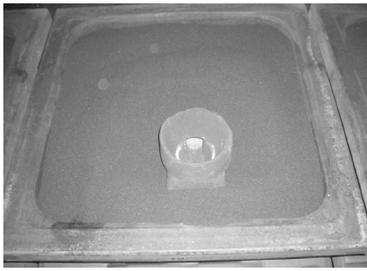


图6 消失模造型工艺

Fig. 6 Molding technology of lost foam casting

3 浇注系统的设计

柴油机气缸体铸件的顶部缸套结构的质量控制要求很高, 在进行消失模铸造工艺试验的开始, 设计浇注方案 I 如图7所示, 为了便于泡沫模样簇的稳定摆放, 将泡沫模样竖直放置, 即油底壳结构在下并与浇注系统相粘接, 浇注方式采用底注式, 生产出的铸件如图8所示。这种工艺的优点是造型操作方便, 缺点是违反了铸件重要部位在铸型中应尽量位于下部的凝固原则。又由于消失模铸造工艺的特点是金属液要将泡沫模样加热气化, 使泡沫模样燃烧后的产物排出型外, 这个过程中泡沫模样也是要吸取热量的, 从而会进一步降低金属液的温度, 进而影响泡沫模样的充分气化和燃烧。严重时会在铸件内部产生碳残留缺陷 (见图9所示, 从机油冷却器部位铸件上切割取样)。



图7 浇注工艺方案 I

Fig. 7 Gating system of scheme I

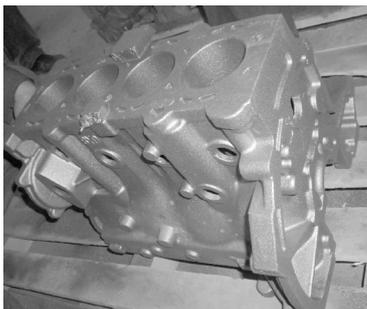


图8 浇注工艺方案 I 铸件

Fig. 8 Casting by gating system of scheme I

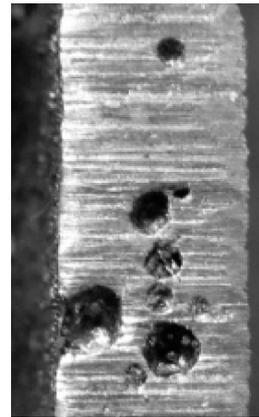


图9 碳残留缺陷

Fig. 9 Carbon residue defect

为符合使铸件重要部位在铸型的中下部凝固的原则, 又能使造型操作便利, 设计了浇注方案 II, 如图10所示。将柴油机缸体泡沫模样倒置辅之以底注式浇注系统, 同时用薄木片对泡沫模样簇进行加固以增强其整体刚度, 防止在搬运和造型填砂时泡沫模样簇分离和断裂。浇注系统泡沫模样是由两个独立发泡成形的泡沫模样组成: 直浇道泡沫模样、整体式横浇道和内浇道泡沫模样。

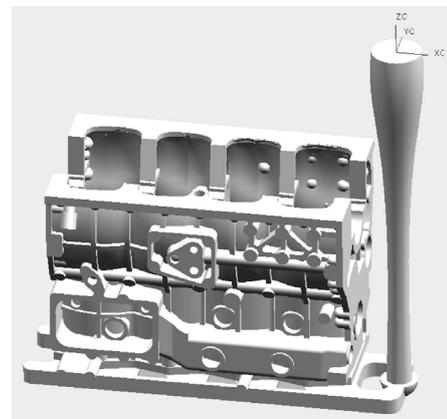


图10 浇注方案 II 泡沫模样

Fig. 10 Foam pattern with gating system of scheme II

首先运用CAD建立铸件几何模样, 计算出其体积和重量。柴油机缸体铸件所占体积为 8.6 dm^3 , 材质为HT250, 密度 7.35 g/cm^3 , 重量为 63.21 kg 。连带浇注系统的泡沫模样簇的总体积即整个铸型型腔的体积为 11.0 dm^3 , 所消耗的金属液总重量为 80.85 kg 。对于重量小于 450 kg , 形状复杂的薄壁铸件, 其浇注时间可按式 (1) 来计算。

$$t = S \times (G)^{1/2} \quad (1)$$

式中: t 为浇注时间 s , G 为包括浇冒口的铸件重量 kg , S 是修正系数, 取决于铸件的壁厚, 对于主要壁厚在 $5.0 \sim 15.0 \text{ mm}$ 之间的铸件, S 取 2.2 。这样, 柴油机气缸体的浇注时间理论值应为 20 s 。其次, 根据消失模铸型

结构特征来确定浇注系统的平均静压力头高度：

$$H_{平均} = H_0 - P^2 / (2 \times C) \quad (2)$$

式中： H_0 为作用于内浇道的液态金属的静压头，cm， P 为铸型内铸件顶面高出铸型分型面的距离，cm， C 为铸型总高度，cm。底部注入时， $P=C$ ， $H_{平均} = H_0 - C/2 = 44.95$ cm。

最后确定铸铁件的总流量系数 μ （代表包括所有阻力损失的流量消耗系数），对于铸型种类为干砂型，并且是实型消失模铸造，铸型的阻力较大，选 $\mu=0.41$ 。基于以上三个浇注参数的确定，就可以借助流体力学的伯努利方程来设计浇注系统内浇道的最小截面面积：

$$F_{内} = G / (0.31 \times \mu \times t \times H_{平均}^{1/2}) = 4.74 \text{ cm}^2$$

实际生产时，考虑到柴油机气缸体产品泡沫模样与浇注系统泡沫模样组装后的整体刚度、强度和模样簇摆放的稳定性等多方面因素后，将其理论计算的内浇道的最小截面积 $F_{内}$ 进行了适当放大，设计成由10个独立均匀分布的截面尺寸为35 mm×6 mm的内浇道构成，如图10所示，获得了较为理想的铸件，见图11，铸件重量比普通砂型铸造生产的缸体重量减轻约10%，铸件重量精度达到MT7级，铸件尺寸精度达到CT8级。

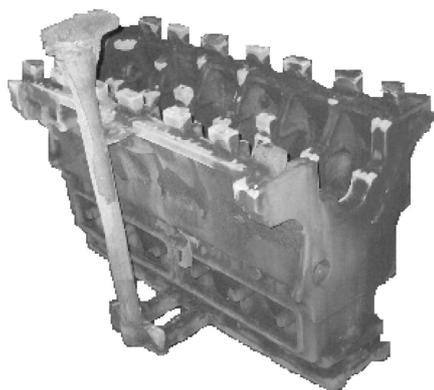


图11 浇注工艺方案II铸件

Fig. 11 Casting produced with scheme II gating system

4 结束语

采用消失模工艺设计的柴油机气缸体铸造工艺，实现了产品技术要求、铸件凝固原理和消失模生产工艺三者的有机统一，扩大了消失模工艺在复杂箱体类铸件中的应用；与传统的普通砂型铸造相比，铸件单体重量减轻了，铸件重量精度达到MT7级，铸件尺寸精度达到CT8级。从业人员的劳动强度降低了，铸造生产的原材料消耗减少了，劳动环境也有了较大改善。

（编辑：刘冬梅，ldm@foundryworld.com）

（选自《铸造》2011年第10期）