DOI:10.16410/j.issn1000-8365.2021.12.005

船用活塞裙的铸造工艺研究

卫　蓉,刘　彦,付岳楼,郭　敏,赵悦光
(陕西柴油机重工有限公司,陕西 兴平 713105)

摘　要:介绍了柴油机活塞裙铸件的结构及技术要求,根据结构的复杂程度和技术要求对其难点进行了分析,在铸造工艺设计中主要从活塞裙铸件化学成分的选择、铁液球化及孕育处理等工艺进行了研究。结果表明,通过生产试制,工艺改进方案可行,生产出了合格的铸件。

关键词:活塞裙;球化剂;孕育处理

中图分类号:TG255　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1000-8365(2021)12-1030-03

Research on Casting Technology of Marine Piston Skirt

WEI Rong, LIU Yan, FU Yuelou, GUO Min, ZHAO Yueguang
(Shaanxi Diesel Engine Heavy Industry Co.,Ltd., Xingping 713105, China)

Abstract: The structure and technical requirements of diesel engine piston skirt casting were introduced. According to the complexity of the structure and technical requirements, the difficulties were analyzed. In the casting process design, the selection of chemical composition of piston skirt casting, spheroidization and inoculation treatment of molten iron were studied. The results show that the process improvement scheme is feasible and qualified castings are produced.

Key words: piston skirt; spheroidizing agent; inoculation

活塞是柴油机的关键件之一,是柴油机的主要运动件和受力件。由于活塞工作条件十分恶劣,运动和受力情况非常复杂,其内部质量要求高。活塞裙作为活塞的组成部件,在高速往复运动中传递着整个柴油机的原动力,承受着极高的机械负荷和热负荷,是柴油机工作条件最为苛刻的零部件之一。活塞裙在高温、高压、高速、润滑不良的恶劣条件下工作,会产生变形并加速磨损、附加载荷和热应力,同时受到燃气的化学腐蚀作用。因此对于活塞裙铸件的质量要求高,油道、销孔、环槽等关键部位要求零缺陷,而且活塞裙结构较为紧凑,内腔形状复杂,且整体形状不规则,销孔处从外壁凸出,并且活塞裙整体壁厚相差很大,这使得活塞裙铸造难度很大。

1　活塞裙简介

1.1　活塞裙结构

活塞裙零件外形尺寸为 ϕ280 mm×327 mm,零件重(41.3±0.4) kg,材质 QT700-2,该型活塞裙结构较为紧凑,内腔形状复杂,且整体形状不规则,销孔处从外壁凸出,并且活塞裙整体壁厚相差很大,裙部壁厚只有 5.5 mm,顶部厚处为 76 mm,壁厚相差悬殊,内外结构复杂,对铸件内部质量要求很高。活塞裙实体图见图 1。

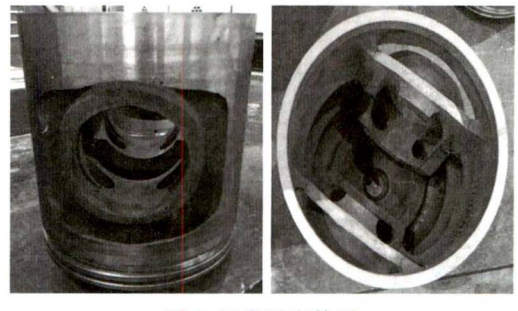


图 1 活塞裙实体图
Fig.1 Marine Piston Skirt

1.2　主要技术要求

(1)力学性能　单铸试样:抗拉强度 $\sigma_b \geq 700$ MPa;布氏硬度 179～302 HB;伸长率 $\delta \geq 2\%$。本体试样:抗拉强度 $\sigma_b \geq 600$ MPa;布氏硬度 163～269 HB;伸长率 $\delta \geq 2\%$。

(2)金相组织　球化率≥80%,石墨的形状 V-VI;石墨的大小 5~7 级。

2　铸造难点分析

从技术要求和结构特点可以看出,主要难点是:(1)活塞裙主要壁厚较薄,裙部壁厚仅 5.5 mm,

收稿日期:2021-09-29

作者简介:卫　蓉(1983—),女,陕西韩城人,硕士,工程师.主要从事铸造工艺设计等方面的研究工作.
电话:18791065614,Email:wr020308@163.com

顶部壁厚 76 mm，壁厚极不均匀，且活塞裙部的壁厚要求全部进行检测，制造精度要求很高。

(2)由于活塞裙是运动件，其工作环境特殊，技术文件要求需进行磁粉探伤等无损探伤检查，其铸件的致密性和内在质量的要求极为严格。

(3)对活塞裙的质量要求严格，铸件要求全部检测，使得活塞裙铸造难度加大。

3　研究内容

3.1　化学成分的选择

对于化学成分的设计与确定，首先需要了解各个合金元素在铸铁中所起的作用，根据公司以往生产活塞裙的经验，对该产品铸造工艺进行设计。

由于该活塞裙铸件组织致密性高，基体珠光体要求细密，故选用激冷速度快的金属覆膜砂型，同时制定合理的原铁液化学成分(见表 1)，以保证其组织性能。

3.2　熔炼工艺的制定

(1)球化剂　选用福士科 ADLLOY7RE，加入量为 1.5%，球化处理采用包底堤坝冲入法。

(2)孕育剂　75FeSi 加入量为 0.7%，覆盖在球化剂上；Inculin390 加入量为 0.4%，覆盖在球化剂上。高温静置后在 1 480～1 500 ℃出炉，一次出完铁液，迅速扒渣后在 1 370～1 390 ℃进行浇注。

表1 原铁液化学成分 w(%)

Tab.1 Base iron composition

C	Si	Mn	Cu	Mo	Ni	P	S
3.75～3.85	1.10～1.30	0.30～0.40	0.60～0.80	0.10～0.20	0.15～0.25	0.05	≤0.03

(3)炉料及配比　由于技术文件要求本体铸态必须达到 QT700-2 水平，在普通的 85%生铁中加 15%废钢的炉料配比下，由于生铁中的杂质及微量有害元素含量大，对于获得较高的力学性能和满足要求的金相组织有很大的影响。鉴于这点，采用合成铸铁的炉料配比方式，高纯度废钢的加入量越大，炉料熔清后铁液中所含的杂质和有害微量元素就越少，同时能够获得更加细密的组织，基体强度更高的铸件。炉料配比量规定为：低钛高纯生铁加入量 30%，高纯度废钢加入量 70%，福士科微硫 LSS 增碳剂加入量 2.75%。

3.3　熔炼过程控制

采用 3 t 中频感应电炉熔化，在熔炼过程中炉料必须严格按照工艺进行配比，增碳剂待生铁熔清后随废钢一并加入，由于废钢熔点高，加入量大，第一次取白口片进行炉前光谱分析时，必须保证铁液温度高于 1 450 ℃，这样才能获得较为准确的炉前光谱分析数据。由于熔化温度高，原铁液中的 C 烧损比较大，原铁液中 C 量和 S 量对铸件的最终性能影响比较大，所以在控制熔炼温度的同时必须对原铁液的 C 和 S 进行化学分析，待原铁液成分按照工艺控制成分调整合适后迅速出炉，扒渣，浇注温度不宜过高，应按工艺下限执行。

4　调试生产结果及分析

4.1　调试生产结果

按照以上工艺熔化铁液并进行球化、孕育，分别进行两炉 1#、2# 活塞裙试制生产，在型腔内保温 12 h 后打箱、清理，并对本体进行解剖，在技术文件规定部位分别取两根试样，进行力学性能和金相组织检测，具体检测结果如表 2、表 3 所示。

表 2　活塞裙本体力学性能

Tab.2　Mechanical properties of piston skirt body

编号	σ_b/MPa	$\sigma_{0.2}$/MPa	δ(%)	HB
1#	706.2	450.6	4.0	229
	683.5	435.4	4.6	223
2#	666.8	420.7	8.0	212
	646.6	412.6	7.6	212

4.2　结果分析

通过对两炉的数据分析可以看出，球化率直接影响了活塞裙本体的力学性能，同时 2# 活塞裙的基体组织中珠光体的含量明显偏低，在相同的生产工艺下，2# 活塞裙出现了球化衰退的现象；也可以看出活塞裙的本体力学性能和金相组织中的球化率和球径的关系很大，球化率和球径大小明显影响了力学性能中的强度和伸长率。

表 3　活塞裙本体金相组织

Tab.3　Microstructure of piston skirt body

编号	球化率	球径	基体 1	基体 2	基体 3	基体 4	基体 5	基体 6	基体 7	基体 8
1#	85%	6 级	P75	P75	P85	P75	P75	P65	P75	P65
2#	82%	6 级	P55	P65	P55	P55	P65	P65	P65	P45

(下转第 1034 页)

会在填砂过程前或填砂过程中埋入钢质芯骨，芯骨上连着芯吊，通过芯吊完成砂芯下芯工作。而3D打印技术在砂芯打制过程中采用逐层铺砂的方法成形，芯骨、芯吊难以放入，这样大型砂芯的搬运难度很大，需开发专用的起吊装置来操作。

传统铸造方式中，砂型是紧紧包裹在砂箱内的，通过吊运砂箱上的箱把就能完成合箱及砂箱搬运等任务。但是3D打印的砂型是无箱铸型，必须单独开发其起吊装置以解决砂型搬运问题。

在重量轻的砂型上设计起吊把手方案，可在3D打印砂型时同时打印出把手，既可以供人手搬运又能方便吊带吊运；砂型起吊方法见图4。在重量大的砂型上设计起吊孔和金属箱把，工装简单易制，利用金属箱把强度高的特点，通过设计合理的尺寸和插入深度实现400 kg以下的砂型吊运，过重的砂型可酌情多设计起吊孔或者加大起吊孔和金属把手直径；在砂芯上设计卡孔，金属棒横向插入卡孔，通过吊钩勾住金属棒起吊，不仅方便易操作，还能解决浇注过程中砂芯排气问题。

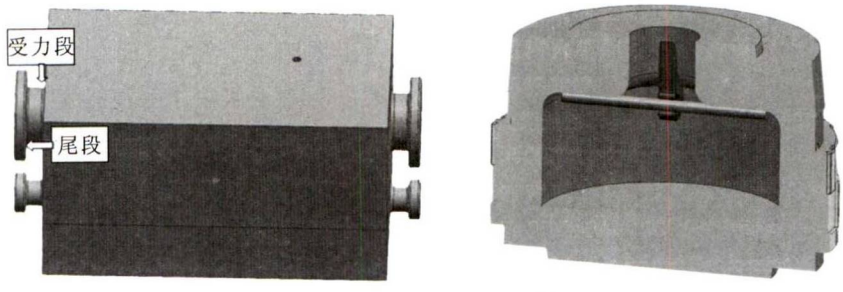


图5 砂型起吊方法示意图

Fig.5 Schematic diagram of lifting method of sand mould

4 结论

(1)数字化三维铸造工艺设计能显著提高复杂件工艺设计周期，基于零件三维图建立工艺省去了分析复杂二维图的时间，可同步设计砂型3D打印模型，相当于将工艺设计和模具设计整合为一个环节。相比于传统铸造工艺，研制周期从两周提高到一周，响应速度快、灵活度高，更适合形状复杂、批量小的铸件生产。

(2)双造型材料复合造型技术具有好操作性、高效性和稳定性。通过芯头卡槽设计将两种型材耦合到一起，能显著提升造型效率，降低造型难度，同时由于非加工面采用3D打印砂型，具有良好的尺寸稳定性，省去了芯盒制作的时间。

(3)3D打印砂型结构设计利用分块设计和吊装结构设计解决了大尺寸砂型难打印、易跑火的难点，通过数次的生产验证，具有可操作性。

参考文献：

[1] 计效园，周建新，殷亚军，等. 数字化智能化铸造技术的研究与应用[C]// 2014中国铸造活动周论文集. 北京：中国机械工程学会，2014.

[2] 贾如，杨才良，刘建辉. 非规则曲面壳体数字化铸造工艺研究[C]// 2019中国铸造活动周论文集. 北京：中国机械工程学会，2019.

(上接第1031页)

5 结语

根据试制生产结果分析，在后续的工艺改进中应提高孕育效果，将覆盖在球化剂上的Inculin390孕育剂改为非球化坑预处理；同时加强过程操作，严格控制铁液的含S量，保证其≤0.02%，必要时可以采用脱硫剂进行脱硫处理；装包过程必须紧实，覆盖铁屑并压生铁，严格控制球化处理温度并提高过程操作水平，保证铁液从球化处理到浇注结束，在较短的时间内完成，以防止孕育的衰退。

参考文献：

[1] 中国机械工程学会铸造分会. 铸造手册·第5卷（第2版）[M]. 北京：机械工业出版社，2013.

[2] 石小明，刘维娟，姜殿昌. 高负荷发动机活塞的开发[J]. 内燃机与动力装置，2020，37(2)：42-48.

[3] 王春霖，谭亲明，郭祎川. 石墨涂层对高强化汽油机活塞裙部磨损特性的影响[J]. 材料保护，2020，53(2)：42-46.

[4] 李林剑. 大功率柴油机活塞顶裙接触副微动磨损和疲劳研究[D]. 上海：上海交通大学，2017.

[5] 陈丽，李剑光，赵文斌，等. 基于摩擦磨损的柴油机活塞裙部型面设计[J]. 车用发动机，2018(4)：27-32.