

DOI: 10.16410/j.issn1000-8365.2021.09.009

TDV100 柴油发动机缸体的铸造工艺设计

尹管彬¹, 贾军军¹, 杨刚¹, 黄鹏², 宁显润²

(1. 四川大学机械工程学院, 四川成都 610065; 2. 宜宾普什联动科技有限公司, 四川宜宾 645152)

摘要: 根据 TDV100 缸体的结构特性, 分析铸造难点, 设计了缸体的铸造工艺。采用三乙胺冷芯盒法进行制芯和呋喃树脂砂造型; 浇注系统设计为中间注入式, 其截面呈半封闭式的浇注系统, 并在油底壳安装面和轴瓦面上分别设计排气棒和排气片; 熔炼方面采用了稀土孕育剂和硅钡孕育剂进行复合孕育处理, 有效的改善了铸件的力学性能; 样件严格执行工艺方案并对其进行质量检测, 结果表明, 缸体的力学性能和石墨形态均符合要求, 铸件表面及内部未发现缺陷, 缸体质量良好。

关键词: 缸体; 铸造工艺; 质量检测; 缺陷

中图分类号: TG251

文献标识码: A

文章编号: 1000-8365(2021)09-0780-04

Casting Process Design of TDV100 Diesel Engine Cylinder Block

YIN Guanbin¹, JIA Junjun¹, YANG Gang¹, HUANG Peng², NING Xianrun²

(1. School of Mechanical Engineering, Sichuan University, Chengdu 610065, China; 2. Sichuan Yibin Pushi Linkage Technology Co., Ltd., Yibin 645152, China)

Abstract: According to the structural characteristics of TDV100 cylinder block, the casting difficulties are analyzed and the casting process is designed. Triethylamine cold box method was used for core making and furan resin sand molding; The gating system is designed as the middle injection type, and its section is semi closed. The exhaust rod and exhaust piece are respectively designed on the oil pan mounting surface and the bearing bush surface; In the aspect of smelting, RE inoculant and Si-Ba inoculant were used for compound inoculation, which effectively improved the mechanical properties of castings; The results show that the mechanical properties and graphite morphology of the cylinder block meet the requirements, no defects are found on the surface and inside of the casting, and the quality of the cylinder block is good.

Key words: cylinder block; casting process; quality inspection; defects

柴油发动机扭矩大、经济性能好、应用广泛。随着近些年工业化进程加快, 发动机的发展趋势呈现出效率高、重量轻等更高的要求^[1]。发动机缸体作为机车动力系统的核心部件, 其结构复杂、壁厚相差较大、存在较多孤立热节, 铸造过程中易产生缩孔缩松缺陷^[2]。TDV100 柴油发动机缸体具有扭矩大、油耗低、刚性好、运行振动小等优点, 单件重 1 350 kg, 轮廓尺寸为: 1 370 mm×1 017 mm×690 mm, 铸件形状复杂, 最小壁厚 8 mm, 最大壁厚 81 mm, 平均壁厚 18.23 mm, 壁厚差异大, 给铸件的实现带来了阻碍, 尤其是铸件内部容易产生缩孔缩松缺陷, 所以,

设计一套适用于 TDV100 缸体的工艺方案, 对该缸体的后续量产具有重要意义。

1 缸体质量要求

TDV100 发动机缸体铸件结构如图 1。缸体的力学性能中, 要求本体硬度在 190~255 HB、抗拉强度 ≥ 240 MPa。缸体的基体组织中: 要求 A 型石墨 $\geq 90\%$, B 型、D 型和 E 型石墨之和 $\leq 10\%$ 。缸体加工面和非加工面均不允许出现裂纹、冷隔、缩松、针孔、夹渣等降低缸体结构强度或影响切削加工的

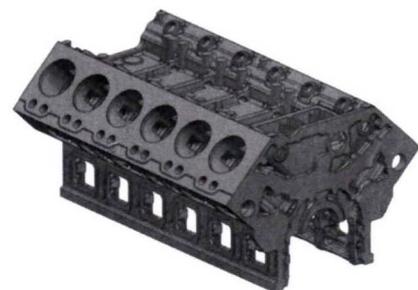


图 1 缸体铸件结构
Fig.1 Casting structure of block

收稿日期: 2021-05-10

基金项目: 四川大学-宜宾市人民政府市校战略合作项目(2019 CDYB-11-SCU); 宜宾市科技计划项目(21KJHH0039)

作者简介: 尹管彬(1998—), 贵州黔西南州人, 硕士生, 研究方向: 机械零件成型及制备工艺。电话: 15528391809, Email: 1458615986@qq.com

通讯作者: 杨刚(1966—), 四川成都人, 教授, 博士, 研究方向: 粉末冶金与粉体工程, 材料先进成形技术。电话: 02885402279, Email: yanggang@scu.edu.cn

缺陷。

2 工艺方案设计

2.1 制芯及造型工艺

缸体内腔砂芯有主体芯、端面芯、油道芯等,由于砂芯结构复杂,制芯后容易断裂和损坏,因此,需要选用合适的制芯工艺制作砂芯。三乙胺冷芯盒法具有芯砂流动性好、脱模时间短、制造周期短、砂芯精度优于其他制芯工艺等优势^[4],所以采用三乙胺冷芯盒法制芯。砂芯均采用 APS 粒度为 50/60 目的硅砂加入 1.3% 的树脂制作,为增强砂芯强度和刚度,在砂芯内部安置金属芯骨,芯骨摆放时避免与芯盒上模的定位杆干涉,并且芯骨不外露,芯骨定位孔用树脂砂堵住。使用专用的工装和量具卡板固定砂芯位置,保证各个砂芯之间的配合尺寸,从而保证缸体毛坯形状和尺寸公差符合要求。

缸体外形尺寸大、用砂量大且强度要求较高,为节省资源,降低制造成本,所以选用强度高、溃散性好、可回收再用的呋喃树脂砂对缸体外形进行造型。造型底箱尺寸为 2 250 mm×1 500 mm×400 mm,盖箱尺寸为 2 250 mm×1 500 mm×220 mm,造型作业时,根据底箱和盖箱的定位销套砂箱,然后放砂紧实,等待砂芯固化后起模。

2.2 熔炼工艺

2.2.1 炉料配比

灰铁熔炼后流动性好、充型能力强,且凝固过程收缩性较小,适合用于形状复杂、壁厚差异大的铸件^[5],所以,TDV100 缸体铸件选用的材质为灰铸铁。熔炼用的是应达(INDUCTOTHERM)20t 中频感应电炉,铸件的原材料配比为:回炉料 30%~40%、废钢 60%~70%。回炉料使用灰铁回炉料,废钢为边角料废钢,保证炉料干净无锈斑。

2.2.2 化学成分设计

炉料熔化前期预补入增碳剂 1.5%、硅铁 0.40%、硫铁 0.10%,Cr 调整至工艺上限 0.28%;其余合金取样后依据光谱成分调整。炉料熔化后尽快调整成分、过热、浇注,防止冶金质量下降。铁液熔化过程中保证炉料不搭棚,炉内炉料熔化后,铁液升温到 1 450±10 °C,用铁铲将除渣剂撒入炉内,搅拌使炉渣聚集在一起,然后使用打渣扒将炉渣清理干净(至少打渣清除 3 次,炉内应无块状渣,炉壁清

洁无粘附渣);打渣后进行取样分析,将温度调整到 1 460±10 °C 内,搅拌铁液至均匀,静置 5~10 min,分别取碳硫样和光谱样,碳硫样放到碳硫仪中检测碳硫含量,光谱样放到直读光谱仪 ARL4460 下做光谱检测,根据检测结果调整铁液的化学成分。调整好后将炉内温度迅速升至 1 500~1 510 °C,静置 5~10 min,然后倒包进行降温、烫包。炉内碳含量在过热后要烧损 0.02% 左右,故在过热后补入增碳剂 0.025%。调整好炉内化学成分后注意温度变化,达到浇注温度(浇注温度根据铸件壁厚特征和材质选择为 1 380±10 °C)后出铁,出铁前必须保证铁液表面干净无浮渣,炉壁无挂渣。

熔炼完成的原铁液主要化学成分要求见表 1。

2.2.3 孕育处理

孕育处理可以改善铸件性能,良好的孕育处理将会使得铸铁流动性增加,共晶团数增多,而白口倾向、收缩率和残留应力减小。

出铁孕育时采用稀土孕育剂和硅钡孕育剂进行复合孕育,两种孕育剂加入比例和粒度都相同,其中加入比例为 0.2%,粒度为 3~8 mm,孕育后迅速搅拌铁液,增加孕育均匀性,随后扒渣、撒覆盖剂,使用风管清理包嘴处浮砂,随即吊至浇注场地浇注,孕育到浇注时间间隔≤12 min。浇注时进行随流孕育处理,孕育时采用粒度为 0.2~0.8 mm 的硅钡孕育剂,加入比例为 0.1%,孕育时间控制在 35~40 s。

2.3 浇注系统及冒口设计

TDV100 缸体内部形状复杂,壁厚差异大,多处局部壁厚较薄,浇注时砂芯容易受冲击变形或断裂,所以设计浇注系统时,要尽量避免冲击,保证平稳充型,同时还要避免液体飞溅和卷气。根据铸件的结构分析,选择在铸件最大截面处分型,且将内浇道也置于分型面上开设并称其为中间注入式浇注系统。

为了保证缸体重要功能区内部质量的致密性,将缸孔面朝下、油底壳安装面朝上,水平置于铸型中,以形成由气缸孔向油底壳安装面的定向凝固。为保证各铸件各部位充型速度均匀,将内浇道均匀分布在分型面的两侧,每侧设置 6 个,且将形状设计为如图 2,使其横截面积逐渐减小,让内浇道具备一定阻流挡渣能力。

阻流截面积需要根据有效浇注时间计算,所以先计算有效浇注时间,浇注时间可根据以下公式^[6]

表1 原铁液主要化学成分要求 w(%)

Tab.1 Chemical composition requirement of base iron

C	Si	Mn	P	S	Cu	Cr	Ti	Pb
3.05	1.80~1.95	0.75~0.85	<0.05	0.07~0.10	0.85	0.25~0.28	≤0.025	≤0.001 5

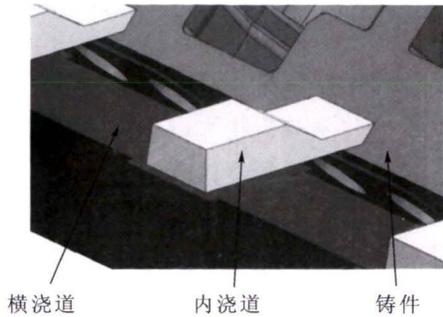


图2 内浇道形状
Fig.2 Shape of ingate

计算:

$$t = f \left(\sqrt{G_{\text{件}}} + \sqrt[3]{\frac{1}{5} \delta \times G_{\text{件}}} \right) \times \left(\frac{2}{3} \right)^{n-1}$$

式中, t 表示有效浇注时间, s ; f 表示材质系数 (灰铸铁材质系数为 1); $G_{\text{件}}$ 表示铸件质量, kg ; δ 表示主要壁厚, mm , 取平均壁厚 18.23 mm ; n 表示浇注系统的组数, TDV100 缸体属于大中型铸件, 采用拔塞浇口, 故 n 取 1, 为减少金属液对型腔烘烤时间, 采取快速浇注, 而对于拔塞浇口、金属型铸造、平板类铸件等任何需快浇的情况之一, 均视作各增大 n 的一个自然数^[7], 故此处 n 取 2。由此式可知浇注时间受材质系数、铸件质量和主要壁厚等因素的影响, 带入数值计算得出有效浇注时间为 35.8 s 。

基于有效浇注时间, 浇注系统的阻流截面积可由以下公式^[8]计算得出:

$$\Sigma F_{\text{阻}} = \frac{G_{\text{件}}}{\rho \sqrt{2g} \cdot t \cdot \delta^{\omega}} \left(\frac{1}{3} \right)^m$$

式中, $\Sigma F_{\text{阻}}$ 表示浇注系统的阻流截面积, mm^2 ; ρ 表示铸件材质密度, kg/cm^3 , 灰铸铁为 0.007 1 kg/cm^3 ; g 表示重力加速度, 9 800 mm/s^2 ; ω 表示材质指数, 灰铸铁为 0.24; m 表示浇注方式修正系数, 拔塞方式 $m=1$, 非拔塞方式 $m=0$, 此处为拔塞方式, $m=1$; $G_{\text{件}}$ 、 t 、 δ 含义与上式相同。带入相应的数值计算得出浇注系统的阻流截面积约为 6 300 mm^2 。

根据铸件的结构特点、几何形状确定浇注系统各组元的横截面积之比为: $\Sigma F_{\text{直}} : \Sigma F_{\text{横}} : \Sigma F_{\text{内}} = 1 : 1.87 : 1.25$ 。浇注系统阻流截面为直浇道的横截面, 结合实际浇注情况, 取直浇道横截面积为 5 024 mm^2 , 通过各组元横截面积比值计算横浇道和内浇道的横截面积, 计算得出横浇道横截面积为 9 394.88 mm^2 、内浇道横截面积为 6 280 mm^2 。结合工艺设计准则, 将横浇道截面设置为上底 65 mm 、下底 60 mm 、高 75 mm 的梯形截面; 将内浇道设置为上底 50 mm 、下底 55 mm 、高 10 mm 的梯形截面。

浇注系统除了浇道设计外, 还需要设计排气和

补缩装置, 考虑到铸件选用的材质为灰铸铁, 凝固时碳的石墨化膨胀, 金属液收缩量微小, 所以在设置排气装置和补缩冒口时, 将排气装置与补缩冒口合并做成排气棒。铸件的油底壳安装面位于上型, 是最后充型部位, 因此在油底壳安装面上设置排气棒, 在充型时起到排气作用, 凝固时又具有一微小补缩量。缸体油底壳安装面长 1 370 mm , 所以在两边油底壳安装面上各设置 7 个顶部直径 $\phi 20 \text{ mm}$ 、底部直径 $\phi 26 \text{ mm}$ 的圆台形排气棒, 其高度为 259 mm , 两排气棒间隔为 218 mm , 两边上的排气棒距铸件两端面 31 mm 。在铸件轴瓦上设置排气片, 形状如倒“Y”形, 空气从下方的两个口进入, 在倒“Y”形的交点位置汇聚向上排出, 这种结构能够更快的排出型腔内的空气。

最终设计出的浇注系统如图 3。

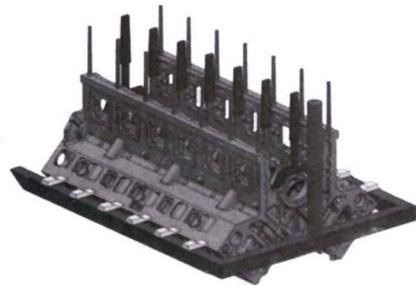


图3 铸件的浇注系统
Fig.3 Gating system of casting

3 产品工艺的实现

采用上述工艺方案生产 TDV100 缸体, 铸件成品如图 4, 为检测缸体的质量, 将缸体铸件进行解剖, 在重要部位取样分析。

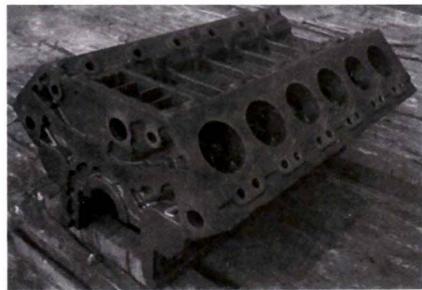


图4 清理后的 TDV100 缸体铸件
Fig.4 Cleaned TDV100 block casting

缸顶面连接缸盖, 使缸孔与缸盖组成密闭燃烧室, 其质量影响燃烧室的燃烧情况, 从而影响发动机的性能。在缸顶面缸孔间取样, 测试缸体的抗拉强度、本体硬度和石墨形态, 取样位置如图 5 所示, 检测结果如表 2, 检测结果表明, 缸顶面缸孔间的抗拉强度、本体硬度和石墨形态均符合要求。

对缸体其他重要位置也进行取样分析, 在油底

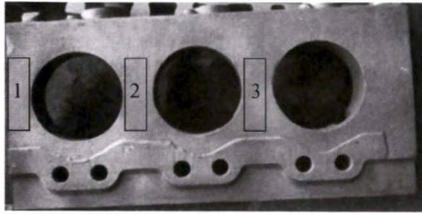


图5 缸顶面缸孔间取样位置

Fig.5 Sampling position between cylinder holes on top of cylinder

壳法兰面取 3 个试样、轴承座螺栓孔取 8 个试样、轴承座瓦弧面取 4 个试样,对所取试样做抗拉强度、本体硬度检测,各取样位置试样的检测结果平均值如表 3 所示,测试结果表明,缸体的抗拉强度和本体硬度均符合要求。

表2 缸顶面缸孔间试样检测结果

Tab.2 Test results of samples between cylinder holes on cylinder top surface

取样位置	抗拉强度 /MPa	本体硬度 (HB)	石墨形态
1	256	207	95%A 5%E
2	263	209	95%A 5%E
3	255	209	95%A 5%E

表3 各取样位置的试样测试结果平均值

Tab.3 Average test results of samples at each sampling location

取样位置	抗拉强度 /MPa	本体硬度 (HB)
油底壳法兰面	277.70	225.3
轴承座螺栓孔	242.75	201.5
轴承座瓦弧面	280.00	201.0

缸体的轴承座螺栓孔及油孔切面如图 6,在其表面未见肉眼可见的缺陷,对缸体表面进行磁粉探伤,探伤结果表明:铸件表面没有裂纹、针孔等缺陷。采用超声波探伤检测缸体内部质量,探伤结果表明:铸件内部未发现气孔及缩松缩孔缺陷。

在后续量产中持续检测该缸体的质量,根据个别缸体出现的夹渣、夹砂等缺陷问题对本文工艺方案进行优化。

4 结束语

对 TDV100 缸体的制芯工艺、熔炼工艺、浇注系统及冒口进行设计,然后采用设计的工艺方案试制缸体,试制过程中严格控制各道工序,对试制出的缸体进行质量检测,检测结果表明,缸体不仅力学性能和石墨组织都符合要求,而且表面和内部均未出现明显缺陷。所以,在此工艺方案指导下生产的缸体质量良好。

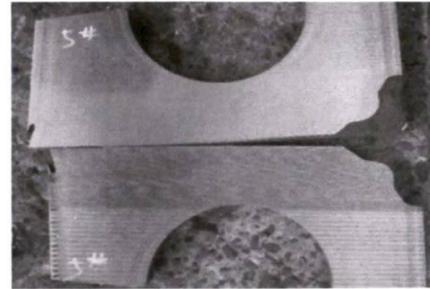


图6 轴承座螺栓孔及油孔切面显示无铸造缺陷

Fig.6 Bearing seat hole and oil hole section shows no casting defects

参考文献:

- [1] 乔印虎,宋辰,王作山,等. 发动机缸体铸造工艺分析[J]. 热加工工艺,2014,43(7):65-67.
- [2] 张肖,李耀宗,陆寅松. 铸件的虚拟设计、虚拟制造、虚拟验证技术应用[J]. 柴油机,2018,40(1):40-43.
- [3] 黄渊,税国红,高翌. C11 下缸体铸造工艺分析及断芯解决措施[J]. 铸造,2017,66(12):1337-1339.
- [4] 周标. 三乙胺气硬冷芯盒制芯工艺及其控制系统的研究 [D]. 北京:清华大学,1996.
- [5] 李鹏. 灰铸铁发动机缸体铸造工艺优化及其组织结构与性能 [D]. 合肥:合肥工业大学,2016.
- [6] 刘文川,向敬成. 大型铸件有效浇注时间的计算 [J]. 大型铸锻件,2000(4):14-20.
- [7] 彭显平,刘文川. 灰铸铁件有效浇注时间计算公式的研究[J]. 铸造技术,2010,31(4):396-400
- [8] 刘文川,刘光清,邓鑫. 灰铸铁件浇注系统最小截面积计算公式研究[J]. 机械,2009,36(4):21-25.

精铸用

石英砂、石英粉、铝矾土、高铝砂

灵寿县德泰矿产品有限公司是一家专业从事非金属矿物的生产厂家,设备先进,技术力量雄厚。

让客户满意是我们的宗旨

化学成分

石英砂	石英粉	铝矾土	高铝砂
SiO ₂ ≥98.7%	SiO ₂ ≥98.7%	Al ₂ O ₃ ≥55%	Al ₂ O ₃ ≥52%

地址: 河北省灵寿县洞里工业区
电话: 0311-82617801(传真), 15175156717
联系人: 刘喜亮