● 生产技术 Production Technology ●
DOI:10.16410/j.issn1000-8365.2020.10.009

# 薄壁球铁管件在 DISA 垂直造型线的工艺设计及优化

回春华
(大连冰山金属技术有限公司,辽宁 大连 116000)

**摘　要**:为提高 DISA 线球铁薄壁管件的生产效率,提高产品质量,以三通管为例,重新对管件模具进行优化设计,阐述了 DISA 垂直造型线薄壁管件的模具布局及铸造浇注系统的设计方法。结果表明,按照新的工艺试验浇注铸件,优化的三通管件生产效率提高了 100%。铸件内部无缩松、缩孔缺陷,废品率控制在 2%以下,成功实现了该薄壁管件的大批量机械化生产。

**关键词**:球铁薄壁管件;DISA 垂直造型线;生产效率;浇注系统设计

**中图分类号**:TG255　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1000-8365(2020)10-0935-04

# Casting Process Design and Optimization of Thin Walled Nodular Iron Pipe Fittings on DISA Vertical Molding Line

HUI Chunhua
(Da Lian BingShan Metal Technology Co., Ltd., Dalian 116000, China)

**Abstract**: In order to improve the production efficiency and product quality of ductile iron thin-wall pipe fitting with DISA line, taking tee pipe as an example, the mould design of thin-wall pipe fitting with DISA vertical modeling line was optimized again, and the mould layout and the design method of casting system were expounded. The results show that the production efficiency of the optimized tees increases by 100% according to the new process test. There is no shrinkage cavity or porosity defects in the casting, and the rejection rate is controlled below 2%, which has successfully realized the large-scale mechanized production of the thin-walled pipe fitting.

**Key words**: Thin walled nodular iron pipe fitting; DISA vertical molding Line; production efficiency; pouring system design

球铁管件是一种需求量大,品种繁多的管道工程用铸件,薄壁管件因其轻薄、高强度、价格低的特性,受到越来越多客户的喜爱。薄壁管件虽然形状简单,但管壁薄,铸造难度大,当液体进入散热面积大的窄小型腔时,伴随着型腔内部阻力,前沿铁液不断降温,流动性变差,从而使得其两侧铁液难以汇聚在一起,形成冷隔、浇不足,甚至缩松、缩孔缺陷[1]。而这些缺陷对于产品的力学性能(如强度、塑性等)影响十分明显,长期以来,在行业内始终认为生产薄壁球铁管件技术难度大、生产成本高而研究不多[2],薄壁管件的预防措施及理论研究仍是当前铸造工作者面临的难题。

DISA 垂直造型线生产效率高,生产的铸件表面质量好,组织致密,尺寸精度高,与传统的砂型相比,具有显著的节能、节材,生产效率高等优点,特别适合生产大产量、高精度的铸件[3]。笔者公司从 2005 年以来一直致力于基于 DISA 垂直造型线各类球铁管件及消防连接件的研究开发与生产,在球铁薄壁管件生产方面积累了一系列的方法和经验。本文主要对 DISA 垂直线造型生产的薄壁管件生产工艺进行探讨,重点从模具设计优化角度出发,探讨如何提高铸件的生产效率,提高铸件产品质量。

## 1　铸件技术要求

薄壁类管件品种繁多,结构各异,以一种常用外径尺寸为 165 mm 的三通管件为例,对 DISA 垂直造型线的铸造工艺进行设计及优化。铸件的最大轮廓尺寸为 264 mm×205 mm×165 mm,铸件平均壁厚为 5.5 mm,重约为 6.2 kg。

材质按照 ASTM A536 65-45-12 标准,球化率等级按照 GB/T 9441-2009《球墨铸铁金相检验》达 2

**收稿日期**:2020-05-12
**作者简介**:回春华(1982-),女,辽宁大连人,硕士,中级工程师.主要从事球墨铸铁铸造工艺设计方面的工作.
电话:18909866406,E-mail:huichunhua@163.com

级以上，铸件内部和表面无缩松、缩孔、缩沉、裂纹、夹杂、冷隔等缺陷。

## 2 铸造工艺设计

### 2.1 模具型腔布局设计

采用的DISA线生产模板为600mm（长）×480mm（高），最开始的设计方案为每型一腔，呈T型放置，从管口侧面浇注，如图1。原方案虽然能生产出合格铸件，但是每型一腔，生产效率较低。为了提高生产效率，从型版模样布局入手，重新设计模样布局，把每型一腔改成每型两腔。

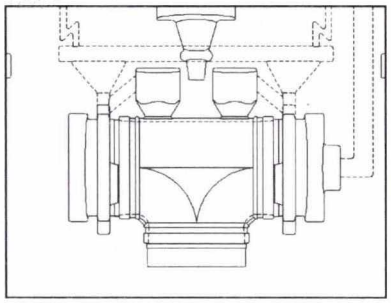


图1 原模具布局图
Fig.1 Original pattern layout

如图2(a)所示，$A$、$B$、$C$分别为模型距离型板顶边、侧边和底边的安全距离，根据铸件壁厚或凝固模数以及总模型高度确定，铸件的最小壁厚为5 mm，查DISA应用手册，$A$=70 mm，$B$=45~70 mm，$C$=45~70 mm，试布模板，每型2腔，支侧管口相对放置，为了增大型腔之间距离，$B$取最小值45 mm，其他数值见图2(b)。

### 2.2 浇注系统设计

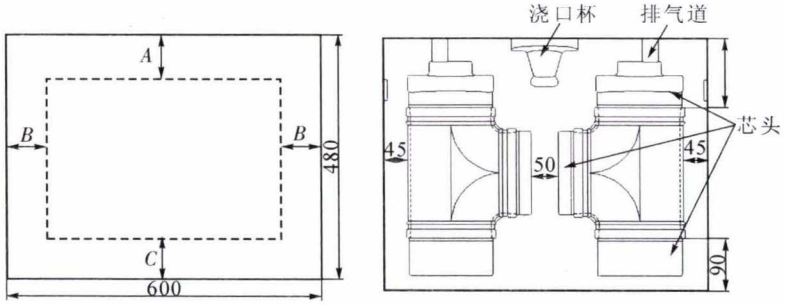
球墨铸铁的共晶凝固区域比较宽，凝固时不能迅速形成凝固壳层，而薄壁类管件壁厚薄，充型速度慢，如果浇注系统布局不合理，会使温度分布不均而造成热应力及球化不均匀，使得石墨化自补缩能力不能充分发挥而易产生缩松。为了使铁液快速充型，减少缩松缩孔缺陷，浇注系统大多采用顶部和中间浇注方式，165三通管最初的浇注设计方案是从管口支侧中间浇注，见图3(a)，但是在批量生产中，由于两个支侧的芯头距离竖浇道较近，吃砂量小，在中间放置浇口，充型时砂芯在铁液压力下，经常发生裂开现象，造成铁液渗入芯头，跑火。重新设计浇注系统，考虑到顶部浇注会给管件带来大量的砂眼，最终的优化方案改为从管口底部双侧浇注，见图3(b)。

#### 2.2.1 内浇道设计

在不同的文献资料中，都有许多关于浇注时间$t$的公式，根据常用的经验计算公式[4]：

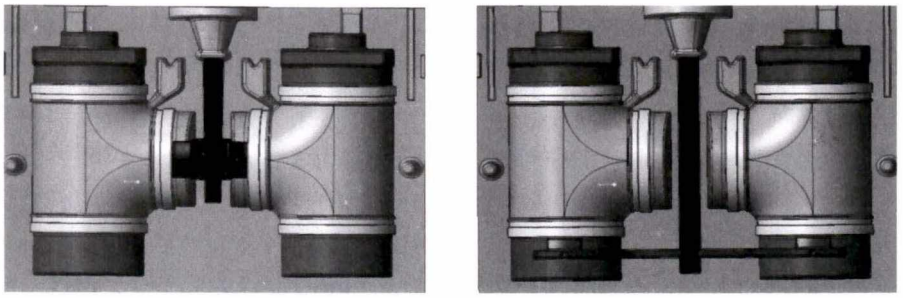
$$T_{max}=B\sqrt{G} \tag{1}$$

这里，$t$表示铁液进入铸件型腔的浇注时间，而$T_{max}$为允许的最大的浇注时间；$G$为铸件单重；$B$取决于最薄壁的厚度或相应的凝固模数，最小壁厚为5 mm，查表，因数$B$取值范围在1.5～2.0，这里取2，计算得到最大浇注时间为4.98 s，取$t_{铸件}$=4.5 s。




(a)铸件至型板边缘的安全距离　　(b)型板布局示意图

图2 新设计型板布局图
Fig.2 New design pattern layout



(a)优化前　　(b)优化后

图3 铸件浇注系统设计
Fig.3 Design of pouring system of casting

根据 DISA 线垂直造型浇注系统计算公式[5]，内浇道的最小截面积(mm²)：

$$F=\frac{1\,036\times G}{A\times t\times\sqrt{H}} \tag{2}$$

1 036 是常数，包含了铁水的密度；$A$ 是摩擦系数(0.2~0.6)，这里取 0.5；

$H$ 是静压高度，mm；时间 $t$ 为浇注时间，s；$G$ 是铸件单重，kg；

将时间 $t$、静压高度 $H$ 代入公式(2)，得到内浇道的最小截面积 $F_{min}$=178 mm²，设计的内浇道截面积 $F$=(1.1~1.2)·$F_{min}$，为了简便起见并有一些安全余量，这里选取 $F$=1.2·$F_{min}$=214 mm²。

内浇道的厚度可以在最大铸件模数的 25%至 100%之间变化，小于 25%将影响液体收缩，因为内浇道在铸件冷却到凝固温度前就凝固了，大于 100%将造成铸件在内浇道前部产生局部热节，导致局部收缩，结合 DISA 垂直造型线生产管件的实践经验，初步选取单侧内浇道厚度为 2 mm，浇口宽度为 55 mm，既能起到挡砂作用，同时优先铸件凝固，阻断浇注系统，利于球铁凝固后期石墨化膨胀进行自补缩。

**2.2.2** 竖浇道和横浇道设计

采用半封闭式浇注系统，最大截面开在横浇道段，内浇道能够快速凝固，同时挡渣效果好，$F_{直}$:$F_{横}$:$F_{内}$=1.3:1.5:1，计算得到竖浇道 $F_{直}$=556 mm²，$F_{横}$=642 mm²。

**2.2.3** 冒口设计

球墨铸铁凝固过程中要发生液态和固态收缩，凝固过程中同时存在石墨析出膨胀，当石墨化膨胀不足以抵消收缩时，铸件凝固后就会产生缩松、缩孔缺陷，需要设计冒口对其进行补缩，选择的冒口应满足以下两个基本原则：

(1)冒口应有足够大的体积，以保证有足够的金属液补充铸件的液态收缩和固态收缩，即体积标准应满足：

$$\eta_F\times V_F\geqslant\varepsilon_C\times V_C \tag{3}$$

式中，$\eta_F$ 为冒口补缩率，热冒口取值 30%；$V_F$，冒口体积；

$\varepsilon_C$ 为球墨铸铁收缩率，5%；$V_C$，铸件体积；

计算得到，$V_F\geqslant$141.5 cm²，常用的冒口有球形、圆柱形、长方体形、腰圆柱形等。考虑到空间布局和铸件补缩部位形状，这里选择冒口形状为长方体形，初步设计冒口尺寸为 45 mm×45 mm×75 mm。

(2)冒口的凝固时间应大于或等于铸件的凝固时间，即冒口模数 $M_F$：

$$M_F\geqslant K_M\times M_C \tag{4}$$

$M_C$ 为铸件模数，约为 0.3 cm；$K_M$ 为球墨铸铁的模数标准因数，为 0.8~1.1，选择 1.0。

设计冒口的模数为 $M_F$=0.86 cm，代入公式(4)，0.86>0.30，设计的冒口尺寸满足铸件模数要求。

利用经验法则来确定冒口颈模数 $M_N$[6]：

$$M_N\geqslant 1/3\times M_F \tag{5}$$

使用截面为梯形的 $a/2a\times 2a$ 的冒口颈，其冒口颈模数 $M_N\approx 0.43a$，计算得到 $a$>0.66 cm，取 $a$=7 mm。

### 2.3 芯盒射砂口和排气口的合理选择

对于薄壁管件，砂型的定位要十分精准，如果砂型定位偏移，薄壁管件芯子偏心容易造成管件壁厚不均。165 三通管芯子采用芯头上部侧面定位，定位间隙为 0.2~0.4 mm。

芯盒射砂口开设在管件非支侧一端，直径 80 mm，在芯盒底部和支侧端同时开有 20 mm 宽，0.2 mm 厚的排气通道，使砂芯在充型过程中能够完全密实充满。金属液进入型腔后，砂芯在高温金属液的作用下，发生物化反应，会在短时间内产生大量气体，故需对砂芯进行排气处理。模具型板的芯头处同样设有排气道，避免冷隔、浇不足或气孔等缺陷的产生。

## 3 熔炼工艺

采用中频感应电炉熔炼，化学成分见表 1 所示。浇注温度控制在 1 380～1 420 ℃，浇注过程中采用随流二次孕育，砂型厚度 250 mm，射砂压力 350 kPa，挤压压力 350 kPa，造型速度为 340 型 /h。

**表1 管件的化学成分 $w$(%)**

**Tab.1 Chemical composition requirements of coupling**

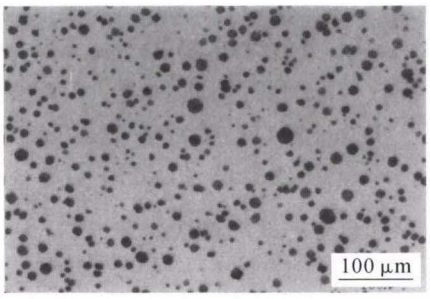
| C | Si | Mn | S | P | Mg |
|---|---|---|---|---|---|
| 3.6～3.8 | 2.5～2.7 | <0.40 | <0.02 | <0.07 | 0.03～0.06 |

按照上述优化后的工艺进行生产线实践验证，随机抽取一炉产品，目视铸件外观良好，表面无裂纹、缩松、缩孔、冷隔缺陷，对铸件进行 X 光检测，无缩松缩孔产生。对该炉次的 Y 型试块进行取样，按照 GB/T 9441-2009 标准，球化级别达到了 2 级标准，球化率 90.35%，如图 4(a)，组织中的珠光体含量在 15%左右，如图 4(b)，满足了客户对金相珠光体含量 70%以下的要求。

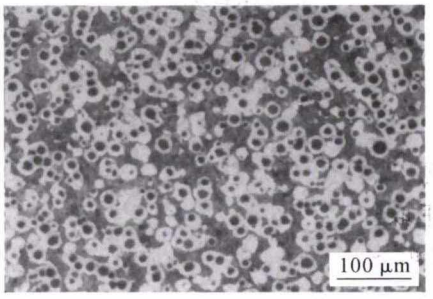
从附铸的试样上取样，进行力学性能检测，结果见表 2，完全满足技术要求。

## 4 结束语

(1)采用 DISA 垂直造型线生产厚度在6 mm 以下




(a)金相图(腐蚀前)




(b)金相图(腐蚀后)

图 4 管件试块金相组织
Fig.4 Microstructure of fitting samples

表 2 管件试块力学性能
Tab.2 Mechanical properties of sample

| | 屈服强度 /MPa | 抗拉强度 /MPa | 伸长率 (%) | 硬度 (HBW) | 备注 |
|---|---|---|---|---|---|
| 目标值 | >310 | >448 | >12 | 156～217 | 附铸 |
| 实测值 | 335 | 485 | 19 | 198 | 附铸 |

的薄壁管件,通过合理的模具设计工艺,可获得表面组织致密,尺寸精确的铸件。

(2)165 三通管件采用了底注式的浇注系统,通过合理的模具布局和浇注工艺设计,铸件的生产效率提高了 100%,实现了管件的大批量生产,长期跟踪统计,该管件的废品率控制在 2%以下,经济效益显著。

**参考文献:**

[1] 吴振,吴成玉. 球铁管件铸造工艺设计与实践[J]. 中国铸造装备与技术, 2002(6):36-37.

[2] 陶树善. 用球铁取代可锻铸铁生产管路连接件 [J]. 现代铸铁, 2015(2):28-31.

[3] 黄党怀,吴照勇,张勇权,等. DISA 造型线生产带盘的轴类零件均衡凝固铸造工艺优化设计[J]. 铸造技术, 2012, 33(3):351-354.

[4] 魏兵. 铸件浇注时间的确定[J]. 西安铸造, 1980, 5(3):7.

**2021年《铸造技术》杂志征订启事**

《铸造技术》杂志，月刊，1979年创刊，中国铸造协会会刊，被20余家数据库收录。中国标准刊号：ISSN1000-8365/CN61-1134/TG，国内外公开发行，国内邮发代号：52-64，国外发行号：M855。

报道范围：报道国内外铸造领域的先进科技成果、实用工艺技术、生产管理经验以及铸造行业发展动态。内容涵盖铸造成型工艺和铸造材料研究，并兼顾其他金属材料成型方法。

主要栏目：试验研究、工艺技术、生产技术、装备技术、特种铸造、实用成型技术、材料改性、应力控制与理化测试技术、今日铸造、企业精英人物专访等。

发行对象：国内外铸造企业，科研院所，高等学校，铸造原辅材料厂商，设备、仪器厂商，铸件采购商等。

广告范围：刊登铸造设备、熔炼设备、环保设备、铸造原辅材料、检测仪器以及铸件生产、热处理设备、科研成果转让等相关信息。

订阅方式及价格：

请从当地邮局订阅，也可以直接从铸造技术杂志社订阅。全年12期，每期定价25元，平寄全年300元（含邮费），挂号全年336元，快递全年420元。

海外：每期定价25美元，全年300美元。

银行汇款：

户　名：陕西铸造技术杂志社有限责任公司
账　号：3700 0235 0920 0091 309
开户行：中国工商银行西安市互助路支行

邮购地址：陕西省西安市碑林区友谊西路127号西北工业大学凝固楼301室
联系人：李巧凤　　电话/传真：13991824906
网址：www.zhuzaojishu.net　　E-mail：zzjs@263.net.cn

微信扫一扫 信息快知道