

厚大断面球铁飞轮无冒口铸造工艺设计与实践

?

摘要：根据均衡凝固理论提出膨胀及收缩动态叠加、有限补缩的基本原理，利用铸铁的自补缩方式，结合铸件本身的结构特点，进行铸造工艺设计与控制，实现厚大断面球铁飞轮的无冒口工艺铸造。

关键词：厚大断面；球铁飞轮；自补方式；无冒口工艺

我厂为合锻集团生产的飞轮，材质为 QT500-7, 单件重量 $G=6300\text{kg}$ 。铸件技术要求：铸件组织致密，不得有气孔、砂眼、疏松、夹渣等铸造缺陷，进行静平衡试验。

1 工艺设计的理论依据

均衡凝固理论提出了膨胀及收缩动态叠加、有限补缩的原理，为无冒口工艺铸造奠定了理论基础。它是利用浇注过程中的后补作用，即浇注结束时，浇注系统短期畅通的补缩作用和凝固过程中石墨化膨胀作用，来补偿铁水在冷却和凝固的过程中而产生的体积收缩，在不专设补缩冒口的条件下，获得致密的铸件。

根据研究资料，一般认为无冒口铸造条件是：

- ①铸件模数大；
- ②铸型刚度高，强化铸型冷却；
- ③快浇，内浇道分散，要适当的薄；
- ④铁液冶金质量有利于石墨化，CE 最好在 4.3~4.7%，孕育要充分；
- ⑤浇注温度低于 1350°C 。

2 工艺设计与步骤

2.1 飞轮的结构特征（如图 1）：

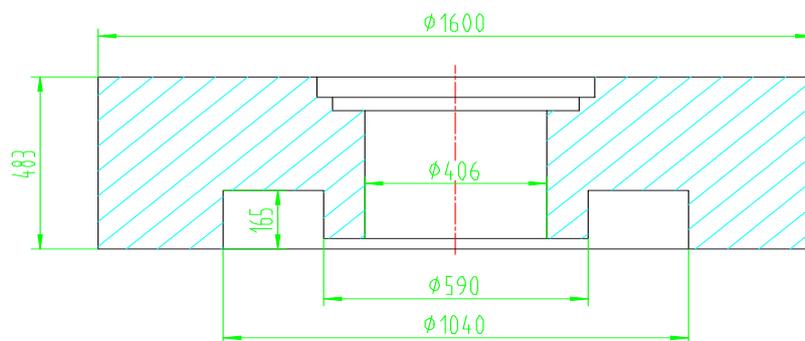


图1 飞轮简图

飞轮的平均模数 $M_c=8.4\text{cm}$ ，最大壁厚为 483mm ，属于厚大件。在浇注凝固过程中，冷却速度缓慢，收缩速度小，相对收缩后移，使均衡点提前到浇注补缩作用结束的时刻，后补作用大，可以实现无冒口铸造。飞轮的质量周界商 $Q_m=10\text{kg}/\text{cm}^3$ ，根据质量周界商的范围划分，该件属均匀稀疏体，配合高刚度铸型、强化冷却等工艺措施，可以依靠浇口后补作用来实现无冒口铸造。

2.2 浇注系统的设计

2.2.1 浇道引入方式

无冒口铸造的浇注系统优先采用顶注，内浇道分散多道，径向、轴向引入，有利于铁水凝固的胀缩叠加。根据飞轮的结构特征，横浇道环形布置，内浇道多道均匀分散搭边轴向引入（如图 2），使铁水在浇注过程中平稳上升，造成胀缩早期叠加的温度场，以便充分利用石墨化膨胀的作用。浇注时，先浇入的铁水沉到铸件的底部，冷却收缩时可从上部后续的铁水得到补充，而底部凝固所产生的石墨膨胀正好能补偿上部铁水的收缩，配合石墨外冷铁的强化冷却作用，从而达到使上部铁水收缩相对后移，下部铁水膨胀相对提前的目的，使均衡点移至浇注系统补缩作用中止的时刻，为无冒口铸造创造条件。

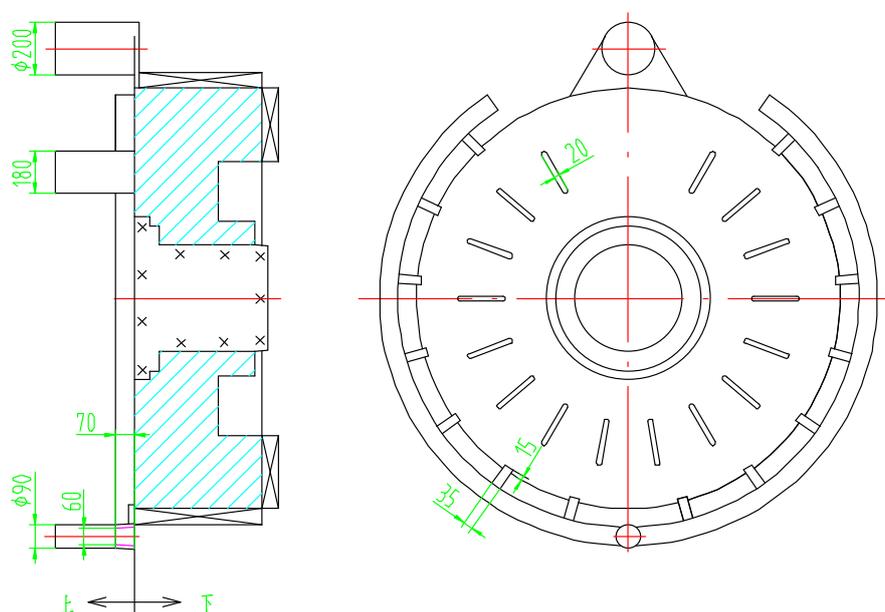


图2 飞轮工艺简图

2.2.2 浇注系统计算

根据大孔出流理论，计算浇注系统各组元截面积：

- ①根据铸造工艺工装，确定直浇道有效高度 $H=300\text{mm}$ ；
- ②计算浇注时间 $\tau=155\text{s}$ ；

③选取浇注系统截面比 $F_{直} : \Sigma F_{横} : \Sigma F_{内} = 1 : 1.6 : 1.2$ ，选取流量因素 $\mu_1 = 0.60$ ， $\mu_2 = 0.60$ ， $\mu_3 = 0.55$ ；

④计算有效截面比 $k_1 = 0.63$ ， $k_2 = 0.91$ ；

⑤计算平均压头和内浇道实际出流压头 $h_p = h_3 = 11\text{cm}$ ；

⑥根据奥藏公式，计算内浇道截面积 $\Sigma F_{内} = 72\text{cm}^2$ ，取内浇道截面形状为 $34/36 \times 20\text{mm}$ 扁平形，搭边宽度 15mm ，共 14 道；计算横浇道截面积 $\Sigma F_{横} = 48\text{cm}^2$ ，取横浇道截面形状为 $60/70 \times 70\text{mm}$ 梯形；计算直浇道截面积 $F_{直} = 60\text{cm}^2$ ，取直浇道为 $\phi 90\text{mm}$ 圆柱形；

⑦横浇道充满判据 $H_{余} = 10\text{cm} > 0$ ，横浇道充满有余，有挡渣能力。

2.3 铸型的选择和强化冷却

铸件的自补缩方式可分为均衡补缩、通道传输补缩、固态挤压补缩三种方式。由于球铁的凝固特征是糊状凝固，铁水在冷却凝固过程中产生的体积膨胀很大，固态挤压补缩占优势，为了使铸型不因此而产生扩大外移，保证铸件内部组织不出现缩松、缩孔等缺陷，选择高刚度砂箱和呋喃树脂砂铸造。

飞轮底面和侧面均布石墨冷铁，提高铸型冷却能力，配合多道分散进铁，尽可能使铸件各部分同时开始、并同步进行冷却和凝固。石墨冷铁使用前需经过烘干处理，防止铸件表面出现气孔和气缩孔。

2.4 化学成分选择与处理工艺控制

为了使铁水在凝固过程中(在不产生石墨漂浮的条件下)析出较多石墨，充分利用其膨胀量达到自补缩的目的，选择化学成分为： $3.5 \sim 3.7\% \text{C}$ ； $2.5 \sim 2.7\% \text{Si}$ ； $4.3 \sim 4.5\% \text{CE}$ ； $\leq 0.65\% \text{Mn}$ ； $< 0.03\% \text{S}$ ； $< 0.05\% \text{P}$ 。为了获得冶金质量好的铁液，采用工频炉熔炼，并按照规定处理工艺严格控制熔炼浇注过程。

为了减少铁水因温度降低而产生的收缩量，选择浇注温度为 $1340 \sim 1360^\circ\text{C}$ 。

为了使铁水在铸型内形成胀缩早期叠加的温度场，选择较快的浇注速度，浇注时间控制在 3 分钟之内。

2.5 排气系统的开设

为了使铸型内受热膨胀的气体压力不减小铁水充型速度，达到快速浇注的目的，在型腔顶部设置 16 个 $180 \times 20\text{mm}$ 扁出气冒口，兼有强化冷却的作用；在浇注系统对面设置 $\phi 200\text{mm}$ 溢流耳冒口，起排气、集渣、除冷头的作用。冒口颈宽 430mm ，厚 20mm ，距铸型边距离 50mm ，使整个排气面积大于 $\Sigma F_{内}$ 。



图3 飞轮铸件图

3 结果

采用本工艺共生产了6件合锻飞轮（如图3），一次合格率100%，无一出现缩孔缩松等铸造缺陷，工艺出品率达95%，既降低了材料、能源的消耗，提高了工艺出品率，又保证了铸件内在品质，取得了满意的效果。

参考文献：

- [1] 魏兵, 袁森, 张卫华. 铸件均衡凝固技术及其应用 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1998.
- [2] 周亘. 球墨铸铁件无冒口铸造可行性论证与实践 [J]. 现代铸铁, 2004, (3); 1-8.

作者简介：

？