

铸造冷铁布置原则的研究及验证

何媛

共享装备股份有限公司 宁夏银川 750021

摘要：借助铸造数值模拟技术对球墨铸铁件冷铁设置的部分原则及要求进行了研究及验证。研究了冷铁铺设厚度对铸件激冷效果的影响，验证了冷铁最大效用的“二分之一原则”；同时也研究了铸件的直角两侧面同时铺设冷铁的距离控制问题，确定直角两边同时铺设冷铁的最小控制距离，为今后的冷铁工艺设计提供指导。

关键词：球墨铸铁件；冷铁设置原则；冷铁厚度；数值模拟；白口组织

Research and verification of casting chill layout principle

HE Yuan

Kocel Machinery Limited, Yinchuan 750021, Ningxia, China

Abstract: This article is mainly researched and verified some principles of chiller setting by the numerical simulation technology. On the one hand, researched the thickness of chill how to influence the solidification process, verified the principle of maximum utility of chill. On the other hand, researched when the setting chill simultaneously on the two right angle faces, how to control the distance between two chills, confirmed the minimum distance and reference for the future process design.

Keywords: spheroidal graphite iron casting; chilling setting principle; the thickness of the chill; numerical simulation; white tissue

1 序言

在设计球墨铸铁件铸造工艺时，通常会设置冷铁起到激冷作用，以实现组织致密。但冷铁设置不合理可能会带来新的问题，当冷铁的激冷作用不足时，将无法实现组织致密，当冷铁的激冷作用过度时，又会出现硬度超标问题。因此，在冷铁设计时，理解和掌握冷铁的设置原则尤为重要。本文借助数值模拟软件研究了冷铁设置厚度对铸件激冷效果的影响，验证了冷铁最大效用“二分之一原

则”，同时研究了铸件直角两边同时铺设冷铁的距离控制问题，确定了直角两边同时铺设冷铁的最小控制距离，解决了铸件实体硬度超标问题，为今后的冷铁设置提供指导^[1]。

2 冷铁厚度对铸件激冷效果的影响

设计一个平板试块，材质为球墨铸铁。根据目前生产球墨铸铁件的厚度，试块的厚度分别设置为20mm、30mm、50mm、80mm、100mm、150mm，

作者简介：何媛，学士，高级工程师，主要从事铸造仿真模拟技术研究及新产品开发，E-mail: heyuan_kocel@163.com。

冷铁厚度与试块厚度之比 f 分别为0.2、0.4、0.6、0.8、1.0、1.2、1.5。另外，设置无冷铁方案作为对比，每种试块厚度对应有8种冷铁方案。铸造工艺方案如图1所示（红色表示试块，蓝色表示冷铁）。

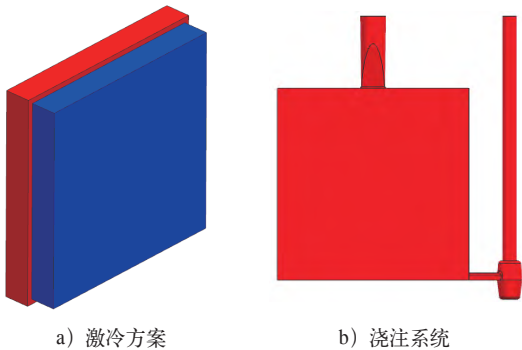


图1 铸造工艺方案示意

将这些方案分别进行凝固数值模拟运算，查看各个方案中试块的热节模数结果，选取试块所铺设冷铁下方最大热节模数列于表1中，试块模数的选取位置如图2所示。

表1 试块的热节模数数值

序号	冷铁厚度与试块壁厚之比 f	试块壁厚/mm					
		20	30	50	80	100	150
		最大热节模数					
1	0（无冷铁）	1.051	1.548	2.506	3.487	3.968	4.862
2	0.2	0.779	1.115	1.815	2.584	3.008	3.799
3	0.4	0.621	0.879	1.381	1.923	2.347	3.182
4	0.6	0.575	0.815	1.319	1.817	2.144	2.972
5	0.8	0.553	0.818	1.274	1.782	2.067	2.885
6	1.0	0.541	0.793	1.282	1.739	2.025	2.845
7	1.2	0.534	0.784	1.259	1.719	2.014	2.822
8	1.5	0.529	0.779	1.252	1.712	1.999	2.81



图2 试块热节模数的选取位置

将表1中的数据制作成散点曲线，如图3所示。从图3可看出，随着 f 的增加，试块的模数逐渐降低，但降低的速率不完全相同。当 $f < 0.6$ 时，试块的模数下降较快；当 $0.6 \leq f \leq 1.0$ 时，试块的模数仍有下降，但下降速度明显缓于之前阶段；当 $f > 1.0$ 时，试块的模数基本无下降，尤其是较薄的壁厚（20mm、30mm的试块壁厚）。也就是说，当冷铁厚度占试块厚度倍数 > 1.0 之后，冷铁对铸件的激冷效果已经达到最大极限，增加冷铁的厚度已无法再降低铸件的模数。因此，在实际工艺设计中，当设想通过铺设冷铁梯度形成模数补缩梯度时，冷铁设置的厚度最大不宜超过铸件的壁厚。

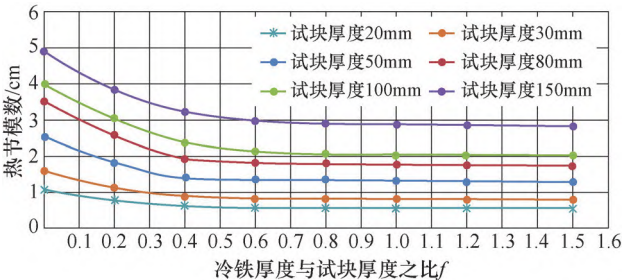


图3 不同冷铁厚度的试块模数曲线

为得到不同厚度冷铁能降低多少模数的量化数值，将表1中不同厚度冷铁激冷后对应的模数除以试块的初始模数（无冷铁的试块模数），得到模数占比，见表2。从表2可看出，对试块铺设不同厚度冷铁，铸件的模数占比逐渐降低，当冷铁厚度逐渐增厚达到铸件厚度的1.0倍后，试块的模数基本为铸件的0.5倍，即降低了铸件一半的模数，符合“二分一原则”^[2]。

表2 不同冷铁厚度降低模数占比

序号	冷铁厚度与试块壁厚之比 f	试块壁厚/mm					
		20	30	50	80	100	150
		激冷后模数与原始模数比					
1	0（无冷铁）	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2	0.2	0.74	0.72	0.72	0.74	0.76	0.78
3	0.4	0.59	0.57	0.55	0.55	0.59	0.65
4	0.6	0.55	0.53	0.53	0.52	0.54	0.61
5	0.8	0.53	0.53	0.51	0.51	0.52	0.59
6	1.0	0.51	0.51	0.51	0.50	0.51	0.59
7	1.2	0.51	0.51	0.50	0.49	0.51	0.58
8	1.5	0.50	0.50	0.50	0.49	0.50	0.58

3 铸件的直角两侧面同时铺设冷铁的距离问题研究

很多铸件的直角两侧面都需要设置冷铁，但冷铁的设置距离需要控制，如果设置太近，容易出现白口组织，从而导致铸件硬度超标；如果设置太远，又达不到所需的激冷作用，因此对这一问题进行研究，设置的冷铁铺设距离 $(x_1 + x_2)$ [3-6] 如图4所示。

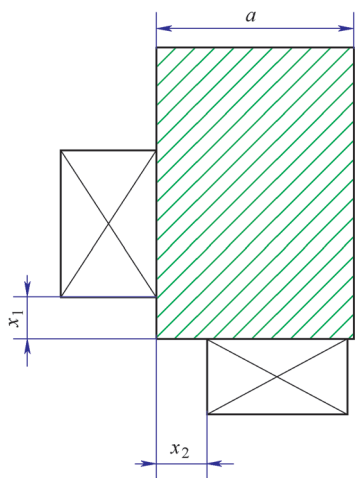
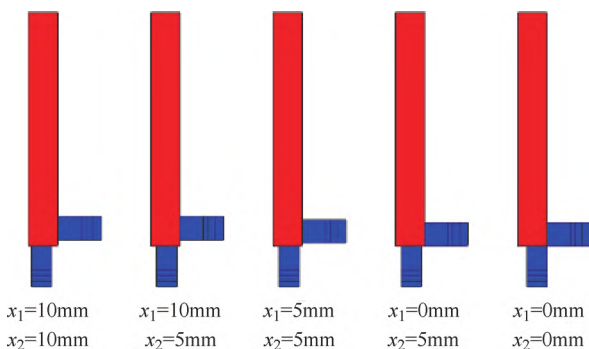


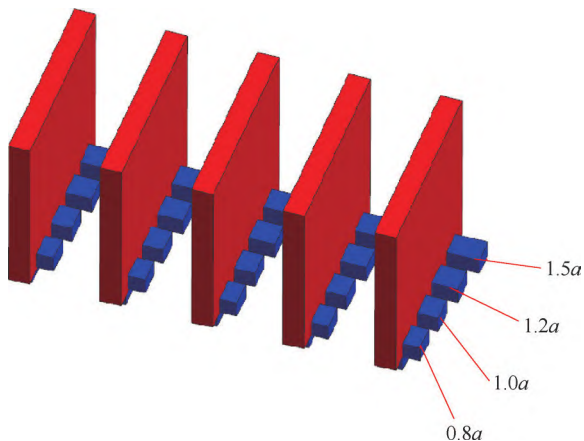
图4 铸件的直角两侧面同时铺设冷铁示意

设计一个平板试块，材质为球墨铸铁。在其下部直角边两侧面同时放置冷铁， $x_1 + x_2$ 的距离分别设置为0mm、5mm、10mm、15mm、20mm，对同一个距离的冷铁，在厚度上也进行对比，冷铁的厚度分别设置为试块壁厚的0.8倍、1.0倍、1.2倍、1.5倍，冷铁的设置方案如图5所示。平板试块厚度分别选择30mm、40mm、50mm、100mm、200mm共5个厚度，覆盖公司产品的壁厚范围。分别对不同壁厚试块的激冷方案进行模拟试验。

第一组试验中，试块的壁厚为30mm，冷铁厚度分别为24mm、30mm、36mm、45mm。通过模拟查看白口组织，结果如图6所示（试块上的冷铁厚度从左向右依次增大）。从图6可看出， $x_1 + x_2$ 越小，白口组织的区域面积越大且含量越多。当 $x_1 + x_2$ 为0mm、5mm时，不同厚度的冷铁下方都有白口组织；当 $x_1 + x_2$ 为10mm、15mm时，冷铁厚度为试块厚度的0.8倍和1.0倍时无白口组织，冷铁厚度为试块厚度的1.2倍和1.5倍时仍有白口组织； $x_1 + x_2$ 为20mm时，不同厚度的冷铁下方均不再产生白口组织，即当铸件壁厚为30mm时，铸件直角两



a) 正视图



b) 轴侧图

图5 铸件的直角两侧面同时铺设冷铁具体方案示意

侧面铺设冷铁 ≤ 1.0 倍的壁厚， $x_1 + x_2$ 的距离应控制 ≥ 10 mm；铸件直角两侧面铺设冷铁 > 1.0 倍的壁厚， $x_1 + x_2$ 的距离应控制 ≥ 20 mm，才能保证无白口组织产生。

第二组试验中，试块的壁厚为40mm，冷铁厚度分别为32mm、40mm、48mm、60mm。通过模拟查看白口组织，结果如图7所示（试块上的冷铁厚度从左向右依次增大）。从图7可看出， $x_1 + x_2$ 越小，白口组织的区域面积越大且含量越多，这与第一组试验结果一致。当 $x_1 + x_2$ 为0mm、5mm时，不同厚度的冷铁下方都有白口组织；当 $x_1 + x_2$ 为10mm时，冷铁厚度为试块厚度的0.8倍时无白口组织，冷铁厚度为试块厚度的1.0倍、1.2倍和1.5倍时仍有白口组织；当 $x_1 + x_2$ 为15mm、20mm时，不同厚度的冷铁下方均不再产生白口组织，即当铸件壁厚为40mm时，铸件直角两侧面铺设冷铁 ≤ 0.8 倍的壁厚， $x_1 + x_2$ 的距离应控制 ≥ 10 mm；铸件直角两侧面铺设冷铁 > 0.8 倍的壁厚， $x_1 + x_2$ 的距离应控制 ≥ 15 mm，才能确保无白口组织产生。

第三组试验中，试块的壁厚为50mm，冷铁厚

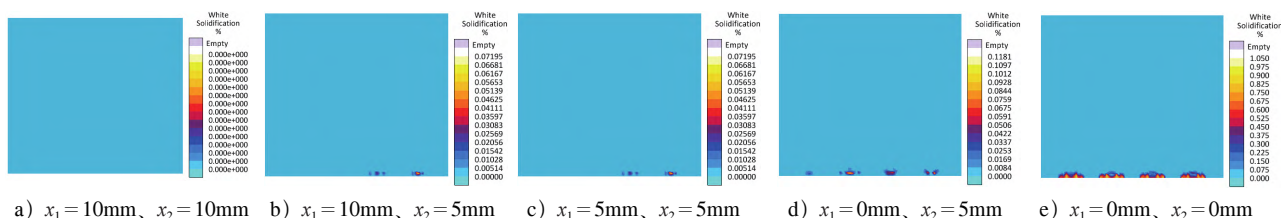


图6 试块厚度30mm的白口组织结果

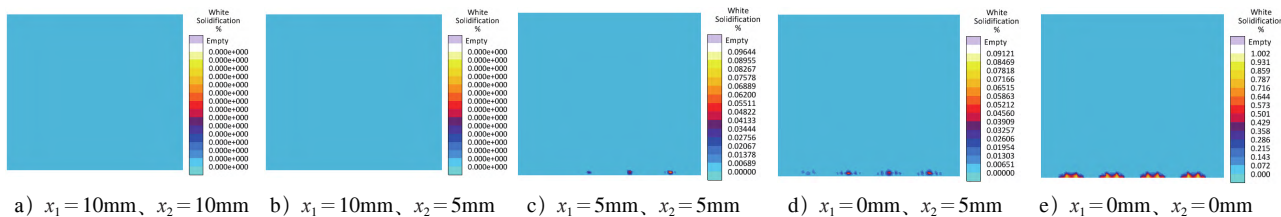


图7 试块厚度40mm的白口组织结果

度分别为40mm、50mm、60mm、75mm。通过模拟查看白口组织结果如图8所示（试块上的冷铁厚度从左向右依次增大）。从图8可看出， $x_1 + x_2$ 越小，白口组织的区域面积越大且含量越多，这与前面的试验结果一致。当 $x_1 + x_2$ 为 0mm、5mm 时，不同厚度的冷铁下方都有白口组织；当 $x_1 + x_2 = 10\text{mm}$ 时，冷铁厚度为试块厚度的0.8倍时无白口组织，冷铁厚度为试块厚度的1.0倍、1.2倍和1.5倍时仍有白口组织； $x_1 + x_2 = 15\text{mm}$ 、 $x_1 + x_2 = 20\text{mm}$ 时，不同厚度的冷铁下方均不再产生白口组织，即当铸件壁厚为50mm时，铸件直角两侧面铺设冷铁 ≤ 0.8 倍的壁厚， $x_1 + x_2$ 的距离应控制 $\geq 10\text{mm}$ ；铸件直角两侧面铺设冷铁 > 0.8 倍的壁厚， $x_1 + x_2$ 的距离应控制 $\geq 15\text{mm}$ ，才能确保无白口组织产生。试块壁厚为50mm与试块厚度为40mm的结果相同。

第四组试验中，试块的壁厚为60mm，冷铁厚度分别为48mm、60mm、72mm、90mm。通过模拟查看白口组织结果，如图9所示（试块上的冷铁厚度从左向右依次增大）。从图9可看出， $x_1 + x_2$ 越小，白口组织的区域面积越大且含量越多，这与前面的试验结果一致。当 $x_1 + x_2$ 为0mm、5mm和10mm时，不同厚度的冷铁下方都有白口组织；当 $x_1 + x_2$ 为15mm、20mm时，不同厚度的冷铁下方均不再产生白口组织，即当铸件壁厚为60mm时，铸件直角两侧面铺设冷铁时， $x_1 + x_2$ 的距离应控制 $\geq 15\text{mm}$ ，才能确保无白口组织产生。

第五组试验中，试块的壁厚为70mm，冷铁厚度分别为56mm、70mm、84mm、105mm。通过模拟查看白口组织，结果如图10所示（试块上的冷铁厚度从左向右依次增大）。从图10可看出， $x_1 + x_2$ 越

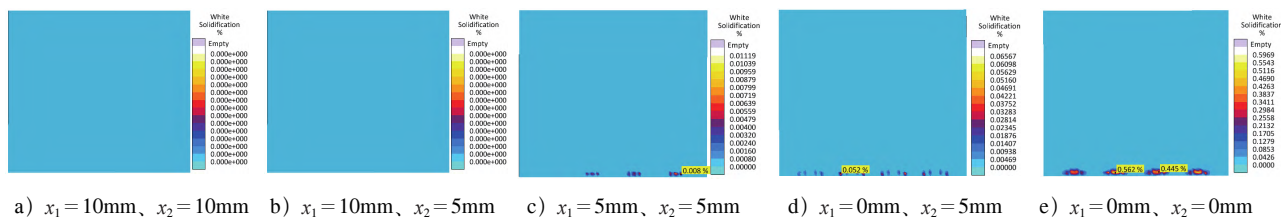


图8 试块厚度50mm的白口组织结果

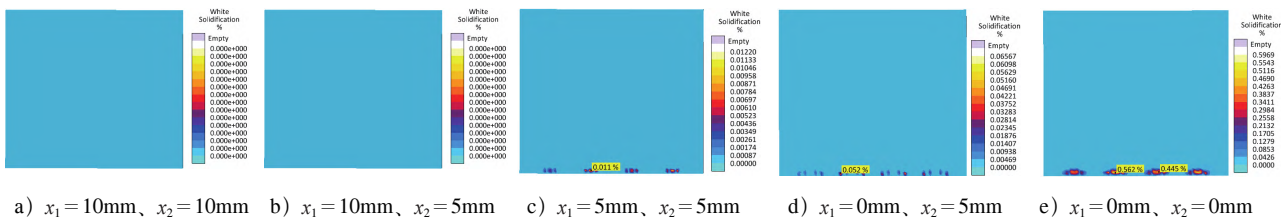


图9 试块厚度60mm的白口组织结果

小,白口组织的区域面积越大且含量越多,这与前面的试验结果一致。当 $x_1+x_2=0\text{mm}$ 、 5mm 和 10mm 时,不同厚度的冷铁下方都有白口组织;当 x_1+x_2 为 15mm 、 20mm 时,不同厚度的冷铁下方均不再产生白口组织,即当铸件壁厚为 70mm 时,铸件直角两侧面铺设冷铁时, x_1+x_2 的距离应控制 $\geq 15\text{mm}$,才能确保无白口组织产生。试块壁厚为 70mm 的与试块厚度为 60mm 的结果相同。

根据以上试验结果分析,由于试块厚度为 60mm 和 70mm 的结果相同,因此将试块厚度的范围间隔加大,研究铸件壁厚为 100mm 和 200mm 的两个大断面壁厚的情况。

第六组试验中,试块的壁厚为 100mm ,冷铁厚度分别为 80mm 、 100mm 、 120mm 、 150mm 。通过模拟查看白口组织,结果如图11所示(试块上的冷铁厚度从左向右依次增大)。从图11可看出, x_1+x_2 越小,白口组织的区域面积越大且含量越多,这与前面的试验结果均一致。当 x_1+x_2 为 0mm 、 5mm 和 10mm 时,不同厚度的冷铁下方都有白口组织;当 x_1+x_2 为 15mm 和 20mm 时,不同厚度的冷铁下方均不再产生白口组织,即当铸件壁厚为 100mm 时,铸件直角两侧面铺设冷铁时, x_1+x_2 的距离应控制

$\geq 15\text{mm}$,才能确保无白口组织产生。试块壁厚为 100mm 的结果与试块厚度为 60mm 、 70mm 的结果相同。

第七组试验中,试块的壁厚为 200mm ,冷铁厚度分别为 160mm 、 200mm 、 240mm 、 300mm 。通过模拟查看白口组织,结果如图12所示(试块上的冷铁厚度从左向右依次增大)。从图12可看出, x_1+x_2 越小,白口组织的区域面积越大且含量越多,这与前面的试验结果均一致。当 x_1+x_2 为 0mm 、 5mm 和 10mm 时,不同厚度的冷铁下方都有白口组织;当 x_1+x_2 为 15mm 和 20mm 时,不同厚度的冷铁下方均不再产生白口组织,即当铸件壁厚为 100mm 时,铸件直角两侧面铺设冷铁时, x_1+x_2 的距离应控制 $\geq 15\text{mm}$,才能确保无白口组织产生。试块壁厚为 200mm 的结果与试块厚度为 60mm 、 70mm 、 100mm 的结果均相同。

从7组试验中可看出,随着 x_1+x_2 逐渐增大,白口组织的含量及面积逐渐减小。为保证安全起见,当铸件厚度 $\leq 30\text{mm}$ 时, x_1+x_2 应控制在 $\geq 20\text{mm}$,当铸件的厚度为 $>30\text{mm}$ 时, x_1+x_2 应控制在 $\geq 15\text{mm}$,才能保证铸件不会产生白口组织,进而避免出现硬度超标等问题。

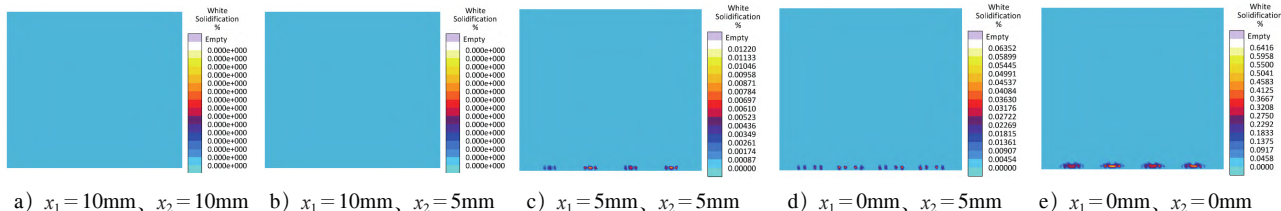


图10 试块厚度70mm的白口组织结果

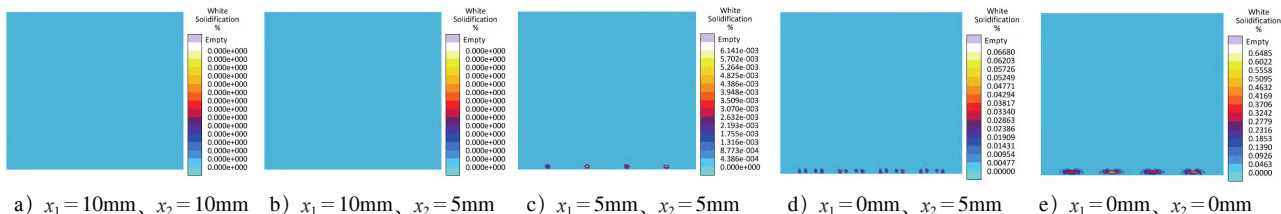


图11 试块厚度100mm的白口组织结果

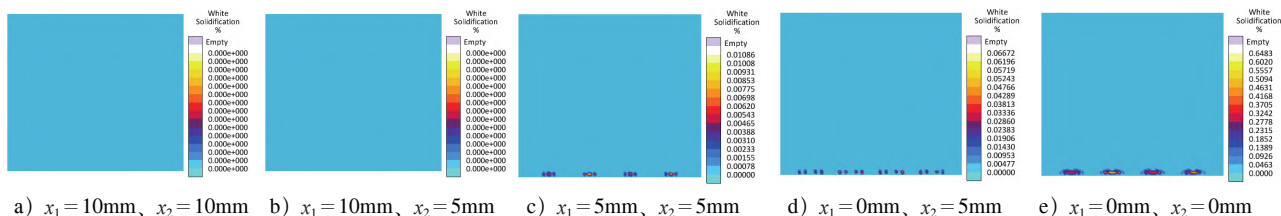


图12 试块厚度200mm的白口组织结果

(下转第127页)

制后得到的最小钛纤维单元横截面为不规则的非圆形或多边形,但这类形状对制成品钛纤维毡的物理化学性能影响微乎其微。

4 结束语

作为保障我国重点工业、能源领域和技术升级的关键基础材料,金属纤维材料在未来产业发展及氢能源领域应用中会受到各大企业的重视与政策引导扶持,采用本文所述的低成本高效率钛纤维制备方法,可使氢能源行业PEM电解槽的气体扩散层制造成本显著降低,有利于该类型绿色商业化电解槽在我国规模化推广。同时研发人员需要进一步优化产品性能,提高生产效率,降低生产成本,拓展应用领域,满足市场需求。

参考文献:

- [1] SIRACUSANO S, HODNIK N, JOVANOVIĆ P, et al. New insights into the stability of a high performance nanostructured catalyst for sustainable water electrolysis[J]. Nano Energy, 2017, 40: 618-632.
- [2] 张严,王磊,孙鹏,等.钛纤维制品的应用研究现状[J].科技创新与应用,2019(12):181-182.
- [3] 黄敏,刘高阳,王新东. PEM水电解用多层钛网析

氧阳极制备及性能研究[J]. 有色金属科学与工程, 2016, 7(3): 1-5.

- [4] ALEXANDER B, HARTMUT S. Current status of water electrolysis for energy storage, grid balancing and sector coupling via power-to-gas and power-to-liquids: A review[J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2018, 82: 2440-2454.
- [5] BYSTRON T, VESELY M, PAIDAR M, et al. Enhancing PEM water electrolysis efficiency by reducing the extent of Ti gas diffusion layer passivation[J]. Journal of Applied Electrochemistry, 2018, 48: 713-723.
- [6] 杨芬. PEM水电解器杂质离子的影响[D]. 武汉: 武汉大学, 2012.
- [7] 范芷萱,俞红梅,姜广,等. PEM水电解池低成本阳极钛纤维毡扩散层研究[J]. 电源技术, 2020, 44(7): 933-936.
- [8] 莫畏. 钛系列丛书—钛的金属学和热处理[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2009.
- [9] 李东峰. 钛纤维多孔材料传热及高温吸声性能研究[D]. 西安: 西安建筑科技大学, 2016.

MW 20240625

(上接第123页)

4 结束语

1) 当 $f < 0.6$ 时,试块的模数下降较快;当 $0.6 \leq f \leq 1.0$ 时,试块的模数仍有下降,但下降速度明显缓于之前阶段;当 $f > 1.0$ 后,试块的模数基本无下降。

2) 当冷铁厚度与铸件厚度相同时,铸件的模数基本降至不设置冷铁模数的0.5倍,即降低了铸件一半的模数,符合“二分一原则”。

3) 铸件直角边两侧面设置冷铁时,随着 $x_1 + x_2$ 逐渐增大,白口组织的含量及面积逐渐减小。

4) 当铸件厚度 $\leq 30\text{mm}$ 时, $x_1 + x_2$ 应控制在 $\geq 20\text{mm}$,当铸件的厚度 $> 30\text{mm}$ 时, $x_1 + x_2$ 应控制在 $\geq 15\text{mm}$ 。

参考文献:

- [1] 纪汉成. 浅谈铸造激冷系统的设计和冷铁标准化[J]. 铸造工程, 2019(4): 28-38.
- [2] 刘文川. 浅谈球墨铸铁件冷铁的厚度尺寸选择[J]. 现代铸铁, 1992(4): 60.
- [3] 薛蕊莉,林艳茹. 利用模数法设计球墨铸铁件的冒口冷铁工艺实例[J]. 铸造, 2012(12): 1462-1464.
- [4] 王晶琦. 采用外冷铁生产厚大断面球铁铸件的试验研究[J]. 现代铸铁, 1996(2): 11-17.
- [5] 张晓峰,徐刚. 基于MAGMA模拟软件的球墨铸铁件硬度预测[J]. 现代铸铁, 2021(3): 31-35.
- [6] 邓宏运,孔令清,马广华,等. 厚大断面球墨铸铁生产质量控制技术: “2012中国铸造活动周”论文集[C]. 沈阳: 中国机械工程学会铸造分会, 2012.

MW 20240520