

# 不同壁厚行星架附铸试块力学性能研究

沙嘉熹<sup>1</sup>, 余 勇<sup>1</sup>, 吴玉斌<sup>2</sup>, 李卓彦<sup>2</sup>, 刘 鹏<sup>1</sup>

(1. 南京高速齿轮制造有限公司 质量部, 江苏 南京 211112; 2. 山东豪迈科技股份有限公司 铸造事业部, 山东 潍坊 261599)

**摘 要:** 为了更准确反应行星架后壁区域本体力学性能, 为解决 70 mm 厚标准试块无法准确反应行星架厚壁区域本体力学性能的问题, 浇铸不同壁厚的附铸试块, 对比研究不同壁厚试块和本体的力学性能的差异。结果表明, 无论是铸件本体还是附铸试块, 力学性能都随模数增加而降低, 当试块心部模数和本体心部模数接近时, 力学性能也非常接近。对于厚壁铸件, 如果没有合适的本体取样位置, 可以通过浇铸和本体模数相近的附铸试块来评估本体力学性能。

**关键词:** 行星架; 球墨铸铁; 附铸试块; 抗拉强度

中图分类号: TG255

文献标识码: A

文章编号: 1000-8365(2022)04-0307-04

## Study on Mechanical Properties of Test Blocks with Different Wall Thickness Attached to Planetary Carrier

SHA Jiayi<sup>1</sup>, YU Yong<sup>1</sup>, WU Yubin<sup>2</sup>, LI Zhuoyan<sup>2</sup>, LIU Peng<sup>1</sup>

(1. Quality Department, Nanjing High Speed Gear Manufacturing Co., Ltd., Nanjing 211112, China; 2. Casting Department, Himile Mechanical Science and Technology(Shandong) Co., Ltd., Weifang 261599, China)

**Abstract:** In order to more accurately reflect the mechanical properties of thick-walled region of planetary carrier, cast-on test blocks with different wall thickness attached to planetary carrier was cast, In order to solve the problem that 70 mm thickness standard test block cannot accurately reflect the mechanical properties of the body in the thick-walled region of the planetary frame, the attached test block with different wall thicknesses was cast, and the difference of mechanical properties between the test block with different wall thicknesses and the body was compared and studied. The results show that the mechanical properties of both the casting body and the test block decrease with the increase of modulus, and when the core modulus of the test block is close to the core modulus of the test block, the mechanical properties are also very close. For thick-walled castings, if there is no suitable body sampling location, the mechanical properties of the body can be evaluated by casting attached test blocks with similar modulus to the body.

**Key words:** planetary carrier; ductile iron; test block; tensile strength

球墨铸铁因为优良的铸造工艺性和力学性能在工业中广泛应用<sup>[1-3]</sup>, 在风电行业, 球墨铸铁常用于铸造轮毂、底座和齿轮箱结构件。行星架作为齿轮箱的重要结构件, 在齿轮传动过程中, 承受的载荷较大, 工况复杂, 是齿轮箱中技术要求最高的铸件<sup>[4-6]</sup>。考虑行星架对材料强度要求较高, 通常选用珠光体含量较高的QT700-2A材料以满足所需力学性能。

## 1 实验背景和实验目的

不同壁厚铸件冷却速度不同, 铸件的组织和性能也不一样<sup>[7-10]</sup>。GB/T 1348-2019球墨铸铁件标准对不同壁厚的性能要求见表1, 可以看出, 铸件壁厚越大, 附铸试块强度和伸长率要求越低。

表 1 QT700-2A 附铸试块力学性能要求  
Tab.1 The mechanical properties requirements of attached casting test blocks of Qt700-2A

铸件主要 壁厚 /mm	附铸试块 壁厚 /mm	抗拉强度 $R_m$ /MPa (min)	屈服强度 $R_{p0.2}$ /MPa (min)	伸长率 $A$ / % (min)
>12.5~30	25	700	420	2
>30~60	40	700	400	2
>60~200	70	650	380	1

随着近年风电主机功率不断提升, 风电铸件的重量和壁厚也在不断刷新。大兆瓦齿轮箱低速级行星架最大壁厚甚至超过200 mm。表2是某型号齿轮箱低速级行星架的铸件本体解剖数据, 最大内切圆直径280 mm, 取样位置见图1。可以看出, 对于同一铸件, 不厚壁厚区域的铸件本体力学性能存在明显差异, 厚壁区域力学性能远低于70 mm厚标准附铸试块的力学性能。此时, 70 mm厚的附铸试块已无法准确反映本体厚壁区域的力学性能。考虑行星架上很难找到合适的套料位置, 而整体解剖成本又太高, 通

收稿日期: 2021-12-02

作者简介: 沙嘉熹(1987—), 学士, 工程师。主要从事铸造工艺, 铸造材料方面的工作。电话: 02585099235, Email: shajiaxi@126.com

表2 行星架本体和附铸试块的力学性能  
Tab.2 Mechanical properties of samples cut from planetary carrier and cast-on samples

试块 /mm	取样位置 壁厚 /mm	抗拉强度 $R_m$ /MPa (min)	屈服强度 $R_{p0.2}$ /MPa (min)	伸长率 $A$ /%
A1/ A2	90	786/765	457/456	4.0/3.0
B1/ B2	140	665/670	425/425	2.5/2.0
C1/ C2	125	705/703	452/452	3.0/2.5
附铸试块	70	806	527	2.5

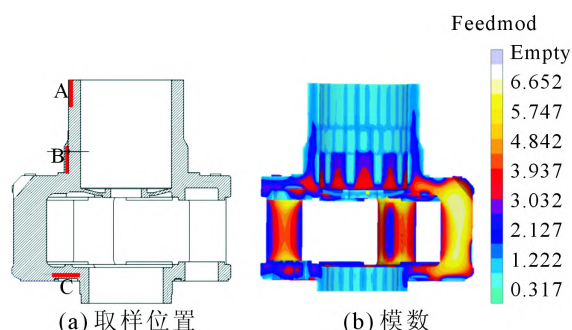


图1 行星架的模数和取样位置

Fig.1 Modulus of the planetary carrier and sampling locations

过检测和本体性能更接近的大试块力学性能来评估本体力学性能成为比较经济实用的一个方法。

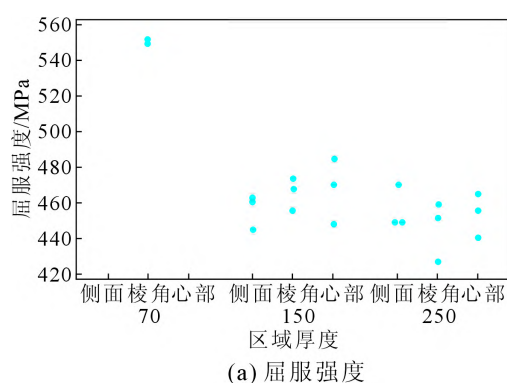
## 2 实验方案

针对壁厚对冷却速度的影响,设计不同壁厚的附铸试块,对比不同试块同一取样位置,以及同一试块不同取样位置在力学性能差异,抗拉试棒取样位置见图2,试块尺寸见表3,每种试块各浇注3个。

采用中频感应电炉熔炼,炉料由40%废钢,40%生铁和20%的回炉料构成,主要化学成分控制范围见表4,采用一次包底孕育二次随流孕育的工艺,铸件和附铸试块采用正火+回火热处理工艺。

## 3 实验结果及讨论

实验数据见图3,可以看出:随着试块增大,抗拉强度和屈服强度逐渐降低,但抗拉强度降低趋势



(a) 屈服强度

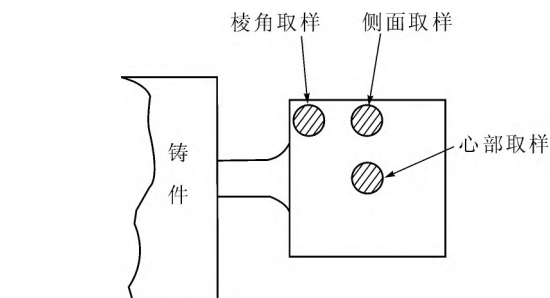


图2 抗拉试棒从附铸试块的取样位置

Fig.2 Tensile specimens sampling locations from cast-on block

表3 附铸试块尺寸

Tab.3 Dimensions of cast-on test blocks

试块	厚度 /mm	宽度 /mm	长度 /mm
250	250	250	250
150	150	150	200
70	70	70	200

表4 QT700-2A化学成分 w/%

Tab.4 Chemical composition of QT700-2A

C	Si	Mn	Cu	RE	S	P
3.6~3.7	2.10~2.25	0.4~0.5	0.4~0.5	<0.01	<0.012	<0.03

更显著。对于同一试块,无论是抗拉强度还是屈服强度,与取样位置并未发现明显的关联性。

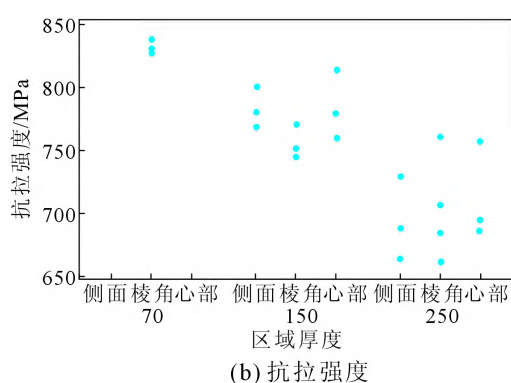
铸件的模数可以很好地反应铸件在凝固和冷却过程中的散热条件:

$$M=V/A \text{ (单位: cm)}$$

式中, $V$ 是体积; $A$ 是散热表面积。考虑到铸件实际结构比较复杂,通过Magmasoft计算获得凝固模数,结果见图4。

从图5金相图片看出:250 mm厚附铸试块和70 mm厚附铸试块虽然珠光体含量没有显著差异,但70 mm厚试块珠光体组织更细,石墨球直径也更小。珠光体的形成速度与冷却速度呈强正相关关系,而珠光体片间距和石墨球直径与冷却速度呈强负相关关系<sup>[11-13]</sup>,因此,更快的散热速度能得到更细的珠光体组织和更小的石墨球,这是不同壁厚试块性能差异的一个主要原因<sup>[14-15]</sup>。

图6是试块和本体取样区域心部模数与力学性



(b) 抗拉强度

图3 不同壁厚附铸试块的强度

Fig.3 Serength of cast-on blocks with different thickness

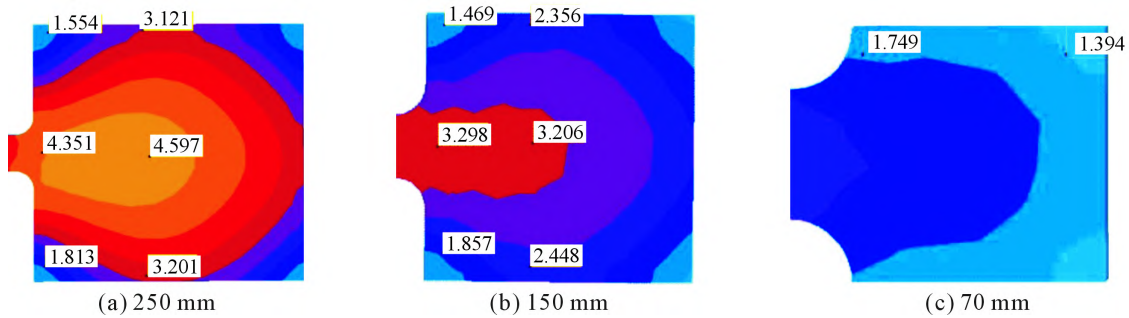


图4 不同壁厚附铸试块的凝固模数分布(单位 cm)  
Fig.4 Modulus of cast-on sample with different thickness

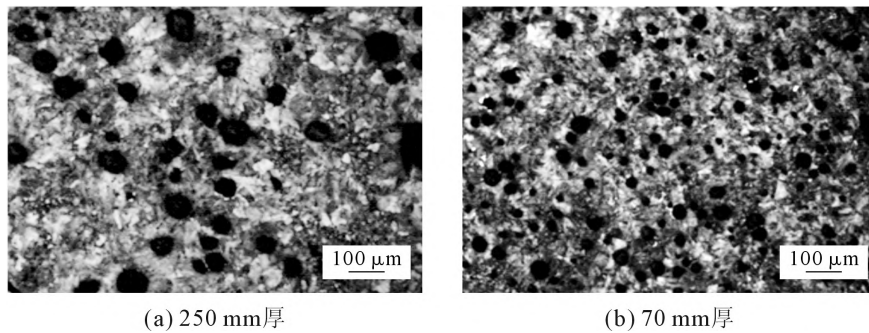


图5 不同壁厚附铸试块的微观组织  
Fig.5 Microstructures of cast-on blocks with different thickness

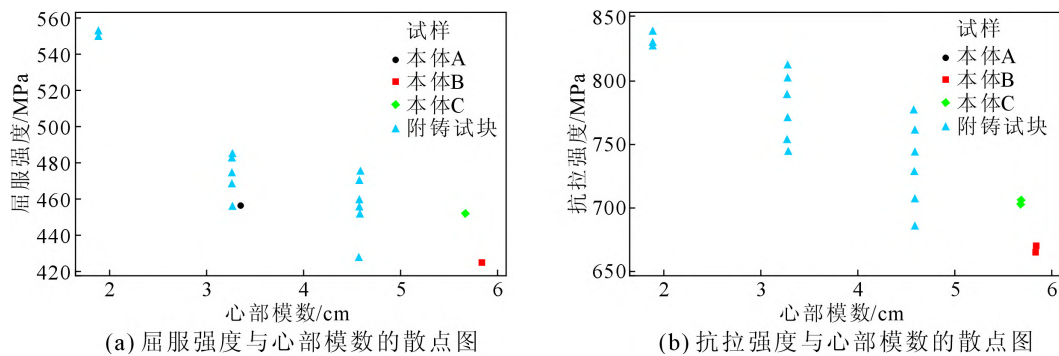


图6 模数与强度的相关性  
Fig.6 Correlation between modulus and strength

能的散点图,可以看出:强度随模数增加而降低,当试块最大模数和本体取样区域最大模数接近时,力学性能数据分布也非常接近。

## 4 结论

(1)薄壁试块比厚壁试块强度高,其中抗拉强度随壁厚增加下降趋势强于屈服强度。

(2)对于壁厚较大的铸件,70 mm厚附铸试块已无法准确反映厚壁区域力学性能,在没有合适套料位置的情况下,浇注模数与本体接近的大试块加工拉伸试样,能够更加准确地反映本体力学性能。

## 参考文献:

[1] 张伯明. 铸造手册1: 铸铁[M]. 第3版. 北京:机械工业出版社,

2011.

- [2] 龚文邦,白新社,刘金城. 球墨铸铁的发展[J]. 现代铸铁,2019,(4): 31-36.
- [3] 杨佳荣. 球墨铸铁研究及应用展望[J]. 现代铸铁,1999(2): 5-8.
- [4] 程继余,薛惠芳. 双馈式风电机组齿轮箱分析[J]. 机械制造与自动化,2018,1(14): 50-52.
- [5] 刘桂然. 关于风电齿轮箱的设计技术分析[J]. 科技经济市场,2020(14): 9-11.
- [6] 孙黎,石鹏飞,代海涛,等. 风电齿轮箱低速级行星架极限强度分析[J]. 机械制造,2017(8): 49-52.
- [7] HAJI M, HASSE F. Effect of the cooling rate on the graphite nodule count and size distribution in nodular cast iron[J]. Materials Science Forum, 2018, 925: 45-53.
- [8] TANAKA Y, YANG Z, MIYAMOTO K. Evaluation of fatigue limit of spheroidal graphite cast iron[J]. Materials Transactions, 1995, 36(6):749-756.
- [9] 刘宗昌. 热处理工程师必备理论基础[M]. 第1版. 北京:机械工业

- 出版社, 2013.
- [10] 吴广河, 沈景祥, 庄蕾. 金属材料与热处理[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2018.
- [11] WHITING M J. A reappraisal of kinetic data for the growth of pearlite in high purity Fe-C eutectoid alloys[J]. Scripta Materialia, 2000, 43: 969-975.
- [12] 刘峰, 杨屹, 付骏. 球墨铸铁中珠光体开始转变动力学数学模型[J]. 热加工工艺, 2007, 36(17): 12-15.
- [13] 张锁梅, 黄卫华, 邢长虎, 等. 不同冷却速度下球墨铸铁的基体组织[J]. 现代铸铁, 2000(4): 29-32.
- [14] 徐知行, 朱先勇. 铸态珠光体球墨铸铁组织和力学性能数学模型[J]. 新技术新工艺, 2008(8): 77-79.
- [15] 刘金海, 李国禄, 郝晓燕. 球墨铸铁微观组织与拉伸行为的相关性[J]. 铸造技术, 2009, 30(3): 329-331.