

霍尔锚断裂分析

马涛¹, 徐芳², 卢贝²

(1. 湖北孝感美珈职业学院, 湖北孝感 432000; 2. 武昌职业学院, 湖北武汉 430202)

摘要: 采用化学成分分析、力学性能检测、微观组织观察等实验方法, 结合有限元软件仿真计算, 对霍尔锚断裂原因进行分析。结果表明, 浇注过程中锚爪根部的铸造缺陷以及大量分布的长条状硫化锰夹杂引起的材料韧性严重降低是导致失效断裂的主要原因。

关键词: 霍尔锚; 断裂分析; 仿真计算; 硫化锰夹杂

霍尔锚是第一代现代标准型无杆转爪锚, 具有结构简单、作业灵活、储存方便等优点, 目前我国商业船只的首锚大多采用霍尔锚^[1]。某公司生产的霍尔锚在坠落试验中锚爪根部发生断裂, 本文采用化学成分分析、力学性能检测、微观组织观察等方法, 结合有限元分析软件对锚的制造过程进行仿真计算, 综合分析锚爪断裂的原因, 并根据分析结果提出合理的改进措施。

1 霍尔锚的尺寸与生产工艺

霍尔锚形状与尺寸如图1所示, 所用材料为ZG 200-400C, 浇注温度为1 540~1 600 ℃, 热处理工艺为650 ℃ × 4 h+930 ℃ × 16 h后空冷+650 ℃ × 14 h后炉冷。

2 理化检验

2.1 断口分析

该锚在出厂强度检验中, 第一次从4 m高度自由坠落, 底座着地时, 锚爪根部外表面出现裂纹; 再次将该锚从8 m高度坠落, 锚爪着地时, 锚爪断裂。

锚断口形貌如图2所示, 断口平齐, 在断口上出现穿晶的沟槽, 除边缘有少量

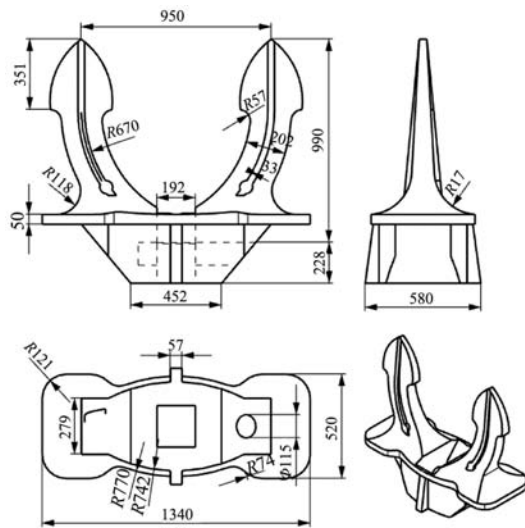


图1 霍尔锚的形状与尺寸

Fig. 1 Shape and sizes of the Hall anchor

作者简介:

马涛(1982-), 男, 副教授, 主要从事计算机辅助工程及计算机网络技术研究工作。电话: 15376561240, E-mail: moto510@qq.com

中图分类号: TG245

文献标识码: B

文章编号: 1001-4977(2022)

04-0480-04

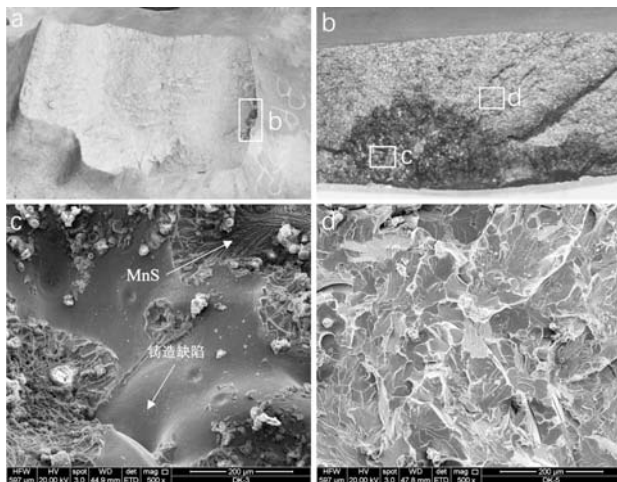
收稿日期:

2021-12-20 收到初稿,

2022-01-08 收到修订稿。

的剪切唇外几乎没有宏观的塑性变形发生,断口呈现金属亮光,为典型的晶状断口^[2-3]。断口裂纹源区存在大量光滑的自由凝固表面,主要为缩孔、缩松等铸造缺陷,且有夹杂物聚集现象,如图2c所示;对夹杂物成分进行能谱分析,结果表明,主要为MnS(如图3所示)。裂纹扩展区形貌如图2d所示,呈解理特征,为脆性断裂。

在锚断口附近取样加工的圆拉试样的断口如图4所示,可以看到,断口上不仅大量分布着MnS夹杂,同时还存在较多的缩松、缩孔等铸造缺陷。MnS作为铸钢中最常见的非金属夹杂物之一,其尺寸、形状和分布强烈的影响着铸钢的性能。从图4c中可以看出,MnS夹杂的形态为纤细的长条状。这种大尺寸长条状夹杂MnS,不但割裂了钢材的力学性能,使其呈现各向异性,而且容易成为裂纹源及其扩展通道,造成材料性能恶化,降低使用寿命^[4-5]。实际生产过程中,往往加入少量Ti、V等稀土元素,在凝固过程中,先析出的高熔点(Ti、V)N相质点,成为后析出MnS相的异质形核质点,从而使MnS细化,弥散分布,提高铸件的质量^[6]。



(a) 断口全貌; (b) 断口局部; (c) 裂纹源区; (d) 裂纹扩展区

图2 断口形貌

Fig. 2 Fracture morphology of the anchor

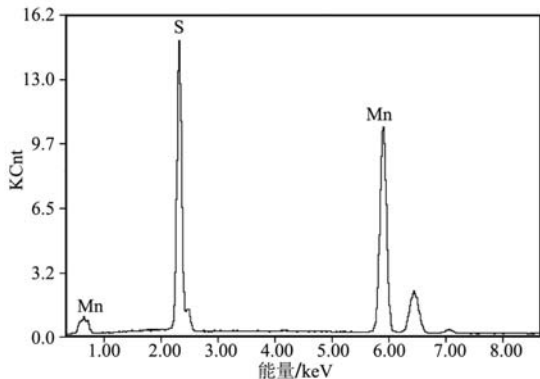


图3 能谱分析

Fig. 3 Energy dispersive spectrometer of the inclusion

2.2 基本力学性能分析

对锚断口附近本体材料进行了拉伸和冲击试验,结果如表1所示:材料的塑性和韧性均严重偏低,其中锚断口附近材料的断后伸长率(A)、断面收缩率(Z)和0℃条件下的冲击韧性(KV_2)均显著低于国家标准,材料韧塑性较差,抗脆断能力较弱。

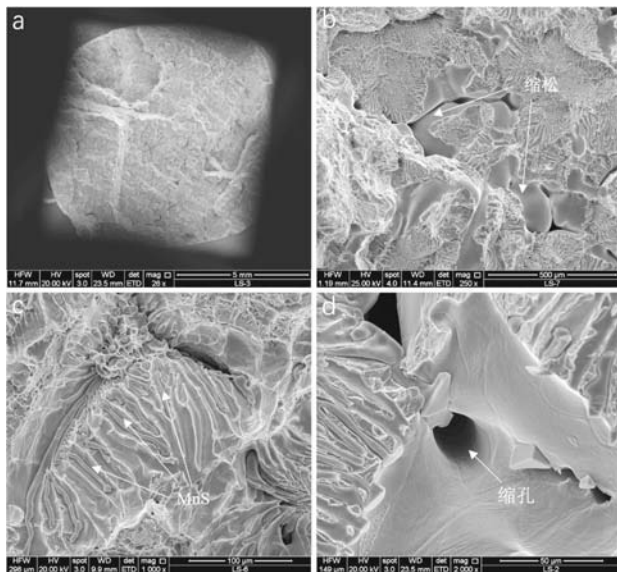
2.3 化学成分分析

锚断口附近材料的化学成分如表2所示,虽然大部分元素含量符合标准,但铸件中S的含量明显偏高。锰是与硫亲和力最强的元素,钢中过量的硫元素极易形成硫化锰^[7]。由于MnS的收缩系数大,在冷却时容易在其周围产生裂纹和孔隙,形成的孔隙可占其本身体积的1.1%^[8]。

2.4 微观组织分析

锚本体的金相组织如图5所示,主要为铁素体和珠光体,晶粒度评级为6.5级,晶粒较为粗大,夹杂物3级,含量较高,主要为沿一次晶晶界分布的MnS和沿奥氏体晶界分布的碳化物,如图6所示。

综合化学成分分析、基本力学性能测试、微观结构分析结果可知,锚铸件杂质元素S含量较高,导致在



(a) 断口低倍; (b) 缩松; (c) MnS夹杂; (d) 缩孔

图4 拉伸断口

Fig. 4 Fracture morphology of the tensile sample

表1 基本力学性能
Table 1 Mechanical properties

项目	$R_{p0.2}/\text{MPa}$	R_m/MPa	$A/\%$	$Z/\%$	0℃ KV_2/J
锚断口	233	393	11.0	15	9.4, 12, 11
	228	410	14.5	20	10.8
国家标准	≥ 200	≥ 400	≥ 25	≥ 40	≥ 30

表2 锚断口附近材料的化学成分

Table 2 Chemical composition of the materials near anchor fracture

 $w_B/\%$

项目	C	S	P	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	Cu
锚断口	0.172	0.054	0.032	0.369	0.936	0.123	0.036	0.022	0.055
国家标准	≤ 0.20	≤ 0.035	≤ 0.035	≤ 0.60	≤ 1.00	≤ 0.35	≤ 0.40	≤ 0.20	≤ 0.40

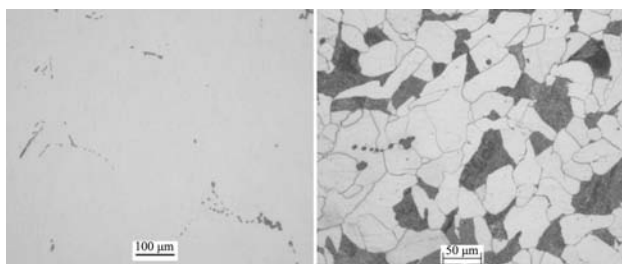
一次晶晶界形成大量的条状MnS夹杂。由于MnS的收缩系数大，在冷却时容易在其周围产生裂纹和孔隙，使材料的韧塑性恶化，对缺陷的容限能力降低，抵抗裂

纹扩展的能力变弱。

3 仿真分析

缩松缩孔是一种大型铸件中常见的铸造缺陷，其分布状态随机性较强，给铸件的有效性分析带来了困难^[9]。采用有限元软件ProCAST对铸造过程进行仿真模拟。在浇注完成后不久，冒口即与铸件断开，此后冒口失去补缩作用，铸件内部形成大块孤立液相区，如图7a所示。铸件凝固后，铸件内部存在大面积的缩孔缩松等铸造缺陷，其分布情况如图7b所示。铸件冷却后，应力分布情况如图7c所示，在锚爪根部存在明显的高应力区。采用有限元软件Sysweld对热处理过程进行仿真模拟。热处理终了时，锚的应力分布情况如图7d所示，可见锚爪根部存在较高的残余应力，这也会导致裂纹的萌生与扩展。

依据锚制造关键工艺参数开展的铸造和热处理仿真计算结果显示，本浇注系统设计的冒口在铸造过程中不能有效发挥补缩作用，导致铸件易形成大量的缩松、缩孔等铸造缺陷，成为潜在的裂纹源；浇注和热处理完成后，铸件冷却后在锚爪根部形成了较高的内应力，驱动了裂纹的扩展。

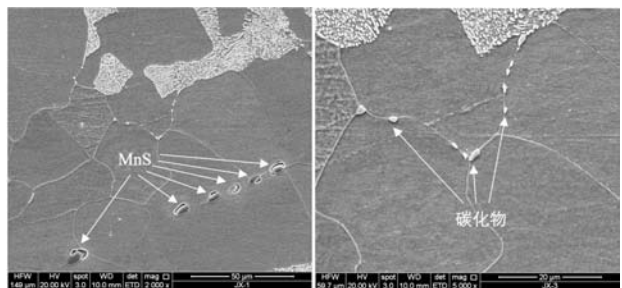


(a) 夹杂物

(b) 晶粒度

图5 金相组织

Fig. 5 Metallographic microstructures

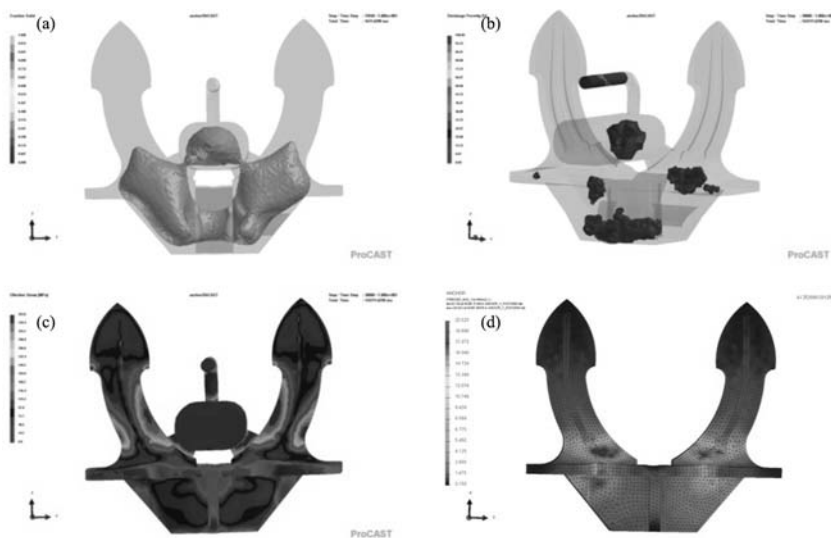


(a) MnS夹杂

(b) 碳化物夹杂

图6 夹杂物

Fig. 6 Inclusion defects of the microstructures



(a) 孤立液相区；(b) 铸造缺陷；(c) 铸造应力；(d) 热处理应力

图7 铸造和热处理过程的仿真计算结果

Fig. 7 Simulation results of the casting and heat treatment processes

4 结论

霍尔锚的脆性断裂是材料和结构两方面原因综合导致。

(1) 钢中S元素含量偏高,大量长条状的MnS夹杂物分布于一次晶晶界,这些MnS夹杂相当于显微裂纹,受到载荷作用时,微裂纹进一步扩展长大,相互连接,导致铸件尚未产生明显塑性变形即发生断裂。

(2) 由于锚自身结构的原因,浇注过程中容易在

锚爪根部形成缩松、缩孔等铸造缺陷,冷却后锚爪根部也存在较高的内应力,从而驱动微裂纹源的扩展。

(3) 在后续生产中,通过降低硫元素的含量,加入少量Ti、V等稀土元素使MnS细化、弥散分布,同时优化铸造和热处理工艺,在锚爪根部添加冷铁,以及加强对重点部位的无损检测等方法,可有效解决霍尔锚的脆断问题。

参考文献:

- [1] 叶邦全. 海洋工程用锚类型及其发展综述 [J]. 船舶与海洋工程, 2012 (3): 1-7.
- [2] 黄红林, 胡健娇. 铸钢件脆性断口的成因分析及解决对策 [J]. 轨道交通装备与技术, 2009 (6): 1-4.
- [3] 宗峰, 徐嘉隆, 彭冀湘, 等. 10CrNiCu钢板脆化原因研究 [J]. 材料开发与应用, 2013, 28 (3): 9-13.
- [4] DOMIZZI G, ANTERI G, OVEJERO-GARCÍA J. Influence of sulphur content and inclusion distribution on the hydrogen induced blister cracking in pressure vessel and pipeline steels [J]. Corrosion Science, 2001, 43 (2): 325-339.
- [5] 杨文, 杨小刚, 张立峰, 等. 钢中MnS夹杂物控制综述 [J]. 炼钢, 2013 (6): 71-78.
- [6] 傅排先, 康秀红, 夏立军, 等. 微合金化对厚断面高锰钢铸件中夹杂物形成的影响 [J]. 铸造, 2010 (12): 1337-1340.
- [7] 郭建, 孙晓东, 张学德, 等. ZG1Cr3MoS中MoS₂形成能力的研究 [J]. 铸造, 2015 (11): 1120-1122.
- [8] 李洪生, 高辉. 钢中硫化锰的形态及对钢性能的影响 [J]. 一重技术, 2004 (4): 26-28.
- [9] LIU Wei, LI Feng, YAN Fuhua, et al. Influence of random shrinkage porosity on equivalent elastic modulus of casting: a statistical and numerical approach [J]. China Foundry, 2017, 14 (2): 108-120.

Fracture Failure Analysis of Hall Anchor

MA Tao¹, XU Fang², LU Bei²

(1. Meiga Polytechnic Institute of Hubei, Xiaogan 432000, Hubei, China; 2. Wuchang Polytechnic College, Wuhan 430202, Hubei, China)

Abstract:

The fracture failure analysis of Hall anchor was carried out by chemical composition inspection, mechanics performance testing, microstructure observation and finite element simulation. The results showed that the casting defects and the massive long strip MnS inclusion which severely weakens toughness and ductility of the metal were the main reasons of the failure fracture of the anchor.

Key words:

Hall anchor; fracture failure analysis; simulation; MnS inclusion