

• 生产技术 Production Technology •

FB140 型蜂窝煤机离心铸造铸钢模筒失效分析与对策

周 为,周文超,刘学航
(宜宾职业技术学院 四川 宜宾 644003)

摘 要:依据金属第 4 强度理论对铸钢模筒壁厚进行强度校核,运用 JMatPro 软件进行材料力学性能的计算模拟,结合胀裂铸钢模筒的断面分析和坯件选择拉伸试验,确定夹渣、疏松等缺陷是导致铸钢模筒强度失效的主要原因。针对存在问题,采取优化离心机转速、把好投料质量关等措施,减少了离心铸造铸钢模筒胀裂失效故障率。

关键词:离心铸造;铸钢模筒;失效分析;夹渣;离心机转速

中图分类号:TG262

文献标识码:A

文章编号:1000-8365(2013)12-1775-03

Failure Analysis and Countermeasures of Cast Steel Mold Cylinder in Centrifugal Casting for FB140 Honeycomb Briquette Making Machine

ZHOU Wei, ZHOU Winchao, LIU Xuehang
(Yibin Vocational & Technical College, Yibin 644003, China)

Abstract: The strength of the wall thickness of cast steel mold cylinder was checked based on the fourth strength theory of metal, and the material properties were calculated using JMaPro software. According to the casting steel blank sample, tensile tests were carried out, and cross section was analyzed. The results show that the slag and shrinkage is a major cause of strength failure of the mold cylinder. In view of the existing problems, adopting the measurements of optimizing centrifuge speed and using good quality material, the bursting failure rate of cast steel mold cylinder in centrifugal casting reduces.

Key words: centrifugal casting; cast steel mold cylinder; failure analysis; slag; rotate speed of centrifuge

模筒是蜂窝煤机确定蜂窝煤外形规格大小的零件,属易损件,市场需求量巨大。某厂系宜宾金齿轮有限公司配套生产商,模筒是其中产品之一。FB140 型蜂窝煤机模筒生产量大,其外形尺寸为 $\phi 168 \text{ mm} \times \phi 140 \text{ mm} \times 140 \text{ mm}$ (外径 \times 内径 \times 高),材质为 Q235 碳钢,坯料为厚壁无缝钢管。由于无缝钢管材市场单价较高,差不多超过同牌号其他型材碳钢价格 20% 以上,因此,开发成本较低且力学性能相当的模筒坯料替代品,对提高企业经济效益具有重要现实意义。自 2010 年下半年以来,按 ZG230-450 牌号配料组织生产,采用离心铸造工艺生产的铸钢模筒,批量投放市场,获得蜂窝煤机用户认可。但是,铸钢模筒筒壁突然胀裂失效现象时有发生,一直影响正常的生产销售工作。

经过反复分析,技改项目组决定:对离心铸造铸钢模筒壁厚进行强度校核;依据 JMatPro 计算模拟功能,检验 ZG230-450 铸钢配料对其屈服强度影

响;剖析胀裂铸钢模筒断面并结合铸钢坯件试样的拉伸试验,验证材料的力学性能指标。期望层层分析,查找导致铸钢模筒胀裂失效的原因,实施改进措施,顺利完成技改项目。

1 模筒壁厚验证

1.1 受力分析

图 1 为冲头冲压模筒内煤炭颗粒成型示意图。在冲头行程终止时,模筒内压达到峰值。由于模筒内表面光滑对称,空间密闭,煤炭颗粒细小均匀,而且冲压力很大,峰值约 40t,为方便计算,可以认定模筒内表面任意一点所受到的压力均等,即:

$$P = \frac{4F}{\pi D^2}$$

式中, P 为压力,MPa; F 为冲压力,N; D 为模筒内径,mm;

当模筒受内压达到一定程度时,筒壁内层首先进入屈服状态,随后逐渐往外扩展,最终整个模筒屈服。在模筒受力内壁取一微小单元体,如图 2,进一步分析受力情况:

$$\text{轴向应力 } \sigma_1 = \frac{DP}{4\delta}$$

式中: δ 为壁厚,mm

收稿日期:2013-06-09

作者简介:周 为(1962-),四川宜宾人,工程师,硕士。研究方向:金属材料及其机械加工工艺。

电话:13056642911;E-mail:1239150370@qq.com

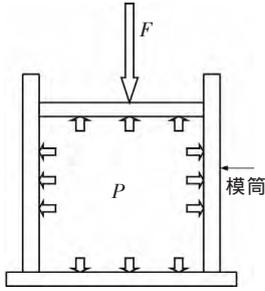


图1 铸钢模筒工作受力分析
Fig.1 Stress analysis of cast steel mold cylinder

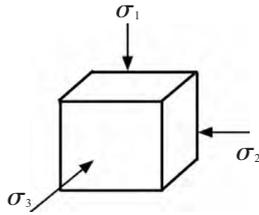


图2 单元体应力分析
Fig.2 Stress analysis of unit

$$\text{切向应力 } \sigma_3 = \frac{DP}{2\delta}$$

$$\text{径向应力 } \sigma_2 = -P$$

1.2 强度校核

按照金属的第四强度理论，即不论应力状态如何，材料发生屈服的共同原因是单元体中的形状改变比能达到了某个共同的极限值。第四强度理论适用于塑性材料，其应用情况更接近实验结果。表达式如下^[1]：

$$\sqrt{\frac{1}{2}[(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2]} \leq R_{el} \text{ 或 } R_{p0.2}$$

式中 \$R_{el}\$ 为材料的屈服强度，\$R_{p0.2}\$ 为产生 0.2% 残余伸长时的应力作为条件屈服强度，MPa。

代入 \$\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3\$ 表达式，当壁厚尺寸远小于模筒直径时，径向应力 \$\sigma_2\$ 可以忽略不计。第四强度理论公式化简，求出理论最小壁厚计算公式如下：

$$\delta = 0.86 \frac{DP}{2R_{el}} \text{ 或 } \delta = 1.72 \frac{F}{\pi DR_{el}}$$

代入数值：模筒内径 \$D=140\$ mm，冲压力 \$F=400000\$ N，屈服强度 \$R_{el}=230\$ MPa^[2]，计算得出铸钢模筒理论最小壁厚 \$\delta=6.9\$ mm。

而离心铸造铸钢模筒实际壁厚为 14 mm，强度安全系数有 2 倍之多，理论上通过强度校核。

2 JMatPro 材料性能的计算模拟

2.1 JMatPro 简介

JMatPro 是一款基于材料类型的软件，可以用来计算模拟金属材料多相平衡与多种性能。例如：进行稳态和亚稳态的相平衡计算(二元、三元、多元)或物理与热物理性能计算，模拟凝固过程中随温度变化的性能等。JMatPro 目前可提供镍基超合金、钢铁(如不锈钢，通用钢种，铸铁)、铝合金等模块，基本上涵盖常用金属材料及其合金种类。

JMatPro 也可以为许多材料成型 CAE 软件提供性能参数，准确预测材料各种性能(如应力应变力学性能)，从而可以大量节省项目时间和实验经费^[3]。

2.2 JMatPro 的应用

2.2.1 工艺及合金元素质量成分

根据企业多年生产经验，离心铸造铸钢模筒 ZG230-450 合金元素质量配比^[4]如表 1，其中 A 组是企业现有生产情况，B 组是锰元素占比增加情况，用以预测材料力学性能随之如何变化：

表 1 铸钢模筒(ZG230-450)化学成分 \$w(\%)\$

Tab.1 Chemical composition of cast steel mold cylinder (ZG230-450)

| 元素 | C | Si | Mn | P | S | Cr | Ni | Cu | Fe |
|--------|------|------|------|------|------|------|------|------|----|
| 配比 A 组 | 0.27 | 0.45 | 0.55 | 0.05 | 0.05 | 0.21 | 0.09 | 0.10 | 其余 |
| 配比 B 组 | 0.27 | 0.45 | 0.90 | 0.05 | 0.05 | 0.21 | 0.09 | 0.10 | 其余 |

将以上 A、B 组合金元素质量配比值代入 JMatPro 软件，进行材料力学性能参数计算模拟。

2.2.2 计算模拟图解读

(1) 图 3 为离心铸造铸钢模筒企业现有生产各合金元素质量配比，其屈服强度 \$R_{p0.2}\$ 约 380 MPa，比 ZG230-450 国标 GB1132-1989 规定的最小值 230 MPa 要高^[4]。因此，按照 JMatPro 计算模拟，离心铸钢模筒材料性能能够通过强度校核。

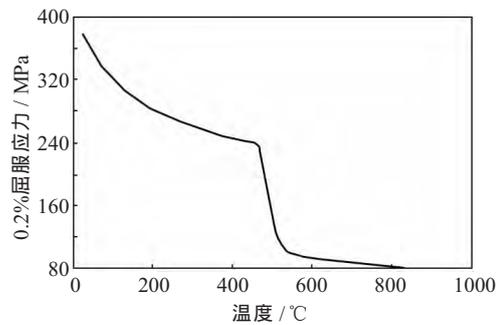


图3 铸钢模筒(A组配料)屈服应力计算模拟图
Fig.3 Simulation diagram of yield stress of cast steel mold cylinder (A group)

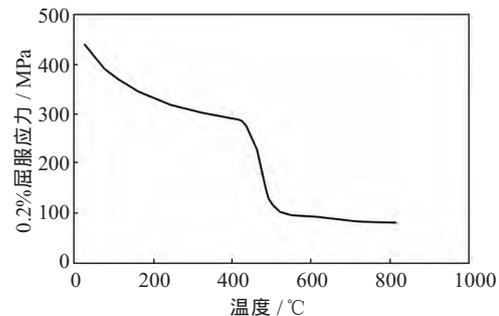


图4 铸钢模筒(B组配料)屈服应力计算模拟图
Fig.4 Simulation diagram of yield stress of cast steel mold cylinder (B group)

(2) 当锰元素质量配比由 0.55% 提高到 0.9%，而其它合金元素配比不变，依据 JMatPro 计算模拟，其屈服强度 \$R_{p0.2}\$ 可以显著提高到约 440 MPa，增长幅度 15.8% 之多。因此，以锰作为主要合金元素，可

以明显提高铸钢的力学性能,延长零件的使用寿命。

(3) 考虑生产成本原因,离心铸造铸钢模筒采用了部分回炉碳素废钢,包含普通碳钢、优质碳素结构钢、碳素工具钢和碳素弹簧钢等。由于中频感应炼钢炉脱硫脱磷困难,回炉钢中的硫磷含量控制不是很稳定,这也是影响产品质量的因素。

3 离心铸造铸钢模筒坯件力学性能的拉伸验证

3.1 返厂胀裂模筒断面组织分析

整理返厂胀裂模筒,对胀裂断面及若干截面观察发现:“创损面”明显存在细小夹渣、疏松等缺陷,且绝大多数位于模筒径向内层。金相组织显微检验还发现部分胀裂模筒存在晶粒粗糙等缺陷。

3.2 拉伸试样的选取及形状确定

(1) 模筒铸造缺陷由于细微、隐蔽,常规检验很难发现,但可以由模筒车削加工者在操作时发现并主动报告。因此,收集疑似存在夹渣、疏松等缺陷的车削半成品制作拉伸试件,进行深入分析。

(2) 拉伸试验试样形状选择矩形,能够方便判断试样截面异常的金相组织是在径向的内层还是外层。试件截面尺寸规格:10 mm×10 mm。

3.3 离心铸造铸钢模筒材料力学性能检验

试件制作一组(8件),其试验结果如表2。

表2 铸钢模筒材料拉伸试验屈服强度值 /MPa
Tab.2 Yield stress of cast steel mold cylinder

| 试件1 | 试件2 | 试件3 | 试件4 | 试件5 | 试件6 | 试件7 | 试件8 |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 286.0 | 295.3 | 152.1 | 265.3 | 302.4 | 287.9 | 277.0 | 265.6 |

3.4 离心铸造铸钢模筒材料力学性能检验分析

(1) 拉伸检验屈服强度仍有7件达到技术要求,占选取试件的87.5%,中位值282.8 MPa。7件试样存在铸造缺陷的,均在浅表层。

(2) 试件3检验屈服强度为152.1 MPa,此坯件加工而成的模筒容易发生胀裂,属于不合格产品。进一步检查证实存在细小夹渣、疏松。存在铸造缺陷的模筒产品,在交变载荷作用下,往往会在瑕疵处产生裂纹。随着裂纹扩大,常常会在无任何征兆的情况下发生疲劳断裂。

4 改进措施及效果

4.1 改进措施

模筒铸钢厂具有一套成熟的生产工艺、较强的技术能力,针对模筒坯料内层存在夹渣、疏松等缺

陷,拟定如下改进措施。

(1) 严格控制回炉废钢的投放量和调整合金元素配比。由于回炉废钢种类多、成分复杂,尤其是熔融的一些合金液中有较多难于除去的渣滓,因此,其投放量不得超过总量的20%,从铸造工序的第一步严把质量关。在考虑现有生产工艺条件下,将锰的质量配比调高至0.7%,以提高离心铸造铸钢模筒的冲击韧度^[5]。

(2) 优化离心机转速。离心机转速是离心铸造的重要工艺因素。过低的铸型转速会使卧式离心铸造时出现金属液雨淋现象,也会使铸件内出现疏松、夹渣、铸件内表面凹凸不平等缺陷;铸型转速太高,铸件上易出现裂纹、偏析等缺陷,砂型离心铸件外表面会形成胀箱等缺陷。经过反复试验,离心机转速提高3%,效果最佳。

(3) 增设过滤网。在浇注槽中增设泡沫陶瓷过滤网以提高除渣率。

4.2 改进效果

逐项落实改进措施,2011年下半年离心铸造铸钢模筒重新投放市场,接受用户检验。根据售后质量跟踪,离心铸造铸钢模筒胀裂失效故障率由4.2%大幅下降至0.53%,平均使用寿命由原来只能生产约1.7万个蜂窝煤提高到约1.85万个。

5 结语

(1) 经过强度校核、材料力学性能JmatPfro计算模拟、拉伸检验等分析判定:夹渣疏松等铸造缺陷是导致FB140型蜂窝煤机模筒强度疲劳失效的主要原因。

(2) JMatPro高效实用的计算功能同成熟铸造工艺相结合,可以预测:元素配料改变带来力学性能的改变值。实施改进措施,提高离心铸造铸钢模筒屈服强度15.8%,延长使用寿命8.82%,大幅减少离心铸造铸钢模筒胀裂失效故障率。

参考文献:

- [1] 郑人颖,高红. 材料强度理论的讨论[J]. 广西大学学报(自然科学版),2008. 33(4):338-343.
- [2] 姜波. 钳工工艺学[M]. 北京:中国劳动社会保障出版社,2009.
- [3] 李莉. 铸造工艺参数查询软件开发[J]. 铸造技术,2010. 31(03):262-264.
- [4] 机械设计手册编写组. 机械设计手册(上册)[M]. 北京:化学工业出版社,2000.
- [5] 张佰明. 离心铸造[M]. 北京:机械工业出版社,2004.