

Study on water absorption of boron aluminum composite based on foaming test

Ding Haitao Fei Jie*

Henan Polytechnic University, Zhengzhou

Abstract: Blister test of B₄C-Al composite materials with different density were completed and the rate of water absorption was calculated. The results reveal that the difference on the rate of water absorption is significant, and the bubble occurs only when the rate of water absorption is in a specific range, which is different with the result of EPRI. The reason of blister may be that the pressure of hydrogen produced in the corrosion reaction exceeds the bonding of clads and core, subsequently plastic deformation would take place and blister formed.

Key words: Boron carbide-aluminum composite materials; Rate of water absorption; Blister; Corrosion

Received: 2020-01-26; Accepted: 2020-02-10; Published: 2020-02-12

基于起泡试验的硼铝复合材料吸水率研究

丁海涛 费 杰*

河南理工大学, 郑州

邮箱: jf_2012@126.com

摘 要: 通过对不同密度的硼铝复合材料进行起泡试验, 得出了各材料的吸水率, 发现不同密度材料的吸水率差异极大, 并且吸水率只有在一定范围 (10^{-3} 量级) 内, 材料才有可能起泡, 这不同于美国电力研究院所得结果。起泡原因可能是铝粉被硼酸溶液腐蚀, 产生氢气后因内部压力超过芯体和包壳的结合强度, 随后导致塑性变形和起泡。

关键词: 硼铝复合材料; 吸水率; 起泡; 腐蚀

收稿日期: 2020-01-26; 录用日期: 2020-02-10; 发表日期: 2020-02-12

Copyright © 2019 by author(s) and SciScan Publishing Limited

This article is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/).

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>



1 前言

硼铝中子吸收材料是一种经济安全的乏燃料贮存运输材料,因其具有良好的导热性、抗腐蚀性和中子吸收能力,在全球各核电厂得到广泛使用。代表材料是美国 AAR 公司研制的一种铝基渗碳化硼金属陶瓷 Boral,其截面如图 1 所示,芯体由 B_4C 和 Al 基体构成,外面包覆一层铝合金。目前广泛应用于全球各核电厂的乏燃料贮存格架。但硼铝中子吸收材料经多年使用后,材料表面局部会起泡。这种现象可导致外覆的不锈钢板发生鼓包形变,严重时可导致燃料组件的抽取困难。目前尚不清楚起泡详细成因,但研究表明,起泡是多种因素(材料成分、制备工艺和使用环境等)影响而产生的结果。国外的起泡试验发现,易起泡材料吸水率约为 0.33% ~ 0.78%,而抗起泡材料吸水率约为 1.26% ~ 1.53%,由于吸水率可以间接反映试样的开口孔率和相对密度,本文制备了不同密度的试样,通过计算材料在模拟实际环境后的吸水率,研究了吸水率对起泡的影响。

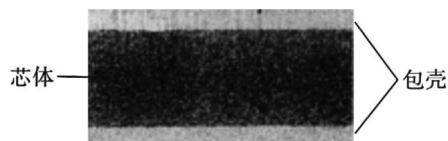


图 1 Boral 的截面

2 材料与方法

2.1 原料与制备方法

试验所用原料为 B_4C 粉和 6061Al 粉,2 种粉料混合均匀之后作为芯体材料,6061Al T6 合金作为包壳材料。采用粉末冶金与轧制等工艺,制备出不同密度的复合材料。

2.2 试验方法

制备出合格板材后,将板材切为 132 mm × 76 mm 大小的试样。不同密度的试样分别准备 2 个,试验前测量各试样密度并计算出相对密度。试验步骤参考

美国电力研究院（EPRI）所做试验。分为湿式试验和干式试验，其中湿式试验在反应釜中进行，分为浸泡、加热和加压3个阶段，湿式试验结束后检查试样是否起泡，测量试样质量和厚度。随后在管式炉内进行干式试验，干式试验分为非真空加热和真空加热2个阶段，干式试验结束后检查试样是否起泡，测量试样质量和厚度。湿式试验和干式试验组成一个循环，进行5次循环试验。试验相关参数分别见表1和表2。

表1 湿式试验过程及参数

试验阶段	温度 /℃	气压 /10 ⁵ Pa	时间 /h
浸泡	38	1.1	96
加热	93	0.11	17
加压	—	0.15	1/6

表2 干式试验过程及参数

加热方式	升温时间 /h	最终温度 /℃	炉内压力 /Pa
非真空加热	4.5	121	10 ⁵
真空加热	10	288	720 ~ 820

2.3 吸水率计算

试样吸水率 p 与试验前后的质量关系如下：

$$p = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \times 100\%$$

式中， m_1 为试样的初始质量； m_2 为试验结束后试样质量。

根据上述公式得出每个试样的吸水率后，可计算得出不同密度试样的平均吸水率。

3 试验结果及分析

第一次湿式试验结束后，发现有一组试样已经起泡，如图2所示。随着试验循环次数的增加，小泡逐渐长大。而其他组试样并没有发现起泡现象。表3统计出了各组试样吸水率与起泡的关系。

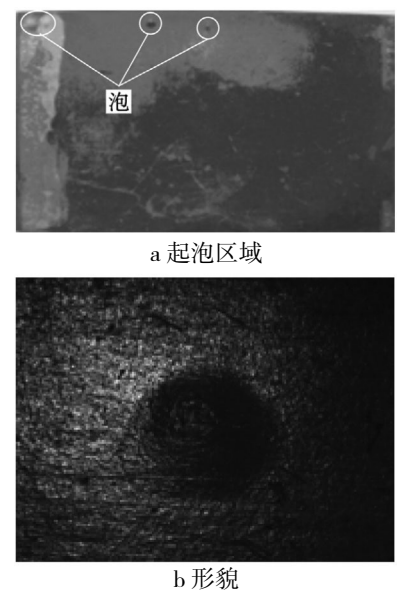


图2 材料起泡图

从表3可以看出，根据吸水率的高低可以把试样分为3组，第1组试样的密度在 $2.58 \sim 2.66\text{g}/\text{cm}^3$ 范围内，其吸水率很低，这是因为该组试样致密，水分不容易渗入芯体。第2组试样的密度约为 $2.51\text{g}/\text{cm}^3$ ，其吸水率远高于第一组试样，这是因为该组试样密度比第1组试样更小，内部存在更多的孔隙，在湿式试验中能吸收更多的硼酸溶液，而在干式试验中随着高温水分又能从芯体孔洞中逸出，即该组试样存在着比第1组试样更为通畅的水分进出渠道；第3组试样密度约为 $2.42\text{g}/\text{cm}^3$ ，吸水率最高。

表3 本试验中吸水率与起泡关系

试样编号	密度 $/\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$	平均吸水率 $/\%$	起泡情况
BB10D98N	2.66	8.69×10^{-3}	无
BB20D98N	2.65	2.58×10^{-3}	无
BB30D98N	2.63	7.74×10^{-3}	无
BB40D98N	2.58	11.9×10^{-3}	无
BB50D98N	2.51	0.1	1#板5个，2#板3个
DB30D92N	2.42	1.79	无

湿式试验时吸入的硼酸溶液必然存在于试样芯体内部的孔隙之中，因而吸水率可以间接反映材料的开口孔率和相对密度。试样的吸水率取决于试样芯体

连接外界的孔道。如果吸水率大,即孔道很通畅,硼酸溶液很容易进入或者排出芯体,溶液不容易在芯体内积累并引发铝粉腐蚀;如果吸水率小,说明芯体致密,硼酸溶液很难进入芯体,也不容易引起铝粉的腐蚀及起泡,但如果吸水率在某一个范围内,硼酸溶液进入芯体与铝粉发生腐蚀反应并生成氢气。腐蚀导致的体积形变若将孔道堵塞,腐蚀生成的氢气不能顺利排出时,就很有可能起泡。从表3中可以看出,吸水率较大和较小的试样都没有起泡,而吸水率为 10^{-3} 量级的2个试样均起泡。

EPRI所做试验易起泡试样吸水率约为0.33%~0.78%,与本试验中起泡试样的吸水率

(0.1%)在数量级上吻合;未起泡试样吸水率约为1.26%~1.53%,与本试验中高吸水率(1.79%)试样接近,而本试验中还存在低吸水率(0.002%~0.008%)的未起泡试样。这说明起泡可能只是在某一个特定的吸水率内发生,凡吸水率高于或低于该区域均不容易起泡,即在试验过程中,试样吸收较多的硼酸溶液或几乎不吸收硼酸溶液对起泡的效果是一样的。考虑到吸水率可以间接反映材料的开口孔率和相对密度,可以推断,起泡现象只在一定密度范围内发生,超过该密度范围材料不容易起泡。Metamic大大提高了材料密度并使之接近其理论密度,从而避免了发生内部微孔和起泡。

4 结论

(1) 起泡只在一定的吸水率范围内发生,超过或低于该吸水率范围,材料不容易起泡。

(2) 吸水率可以间接反映材料的开口孔率和相对密度,因此起泡现象在一定密度范围内发生,超过该范围材料不易起泡。

(3) 为避免在使用过程中起泡,建议在制备过程中尽可能提高材料密度。

参考文献

- [1] 李文焱. 核材料导论[M]. 北京: 化学工业出版社, 2007.
- [2] Qualification of Metamic for Spent-Fuel Storage Application[R]. Palo

Alto, CA: EPRI, 2001: 1003137.

- [3] Boral Behavior Under Simulated Cask Vacuum Drying Conditions (Part 2 Test Results) [R] . Palo Alto, CA: EPRI, 2004: 1009696.
- [4] Handbook of Neutron Absorber Materials for Spent Nuclear Fuel Transportation and Storage Applications [R] . Palo Alto, CA: EPRI, 2006: 1013721.