

含有回收纤维素纤维的纤维水泥材料测试

克日什托夫·什姆科, 托马斯·戈泽拉, 马特乌斯·沙布夫

所属单位: 波兰土木工程学院

摘要: 本文表明了使用回收的废纸纤维素纤维对受湿气污染的纤维水泥板性能的影响的研究结果。本研究测试了四个系列的纤维水泥板; 一个没有使用回收纤维素纤维的参考纤维水泥板构成了其中一个系列, 其他三个系列由不同含量的回收纤维素纤维的板材组成——占总纤维素纤维含量的10%到50%。纤维水泥板的试样通过在水中存放1-96小时而受到水分的污染。随后, 本研究测试了它们的基本物理和机械参数, 即质量含水量、吸收性和断裂模量(MOR)。然后, 在三点弯曲过程中, 本研究通过声发射对试样进行了研究。人工神经网络被用来分析声发射测试结果。测试清楚地表明, 回收的废纸纤维素纤维的数量和在水中储存的时间对板材有不利的影响, 导致其降解。这反映在人工神经网络识别的声发射(AE)事件数的减少上, 在试样的三点弯曲过程中伴随着纤维的断裂。为了更详细地了解测试的纤维水泥板结构中发生的变化, 本研究通过扫描电子显微镜进行了光学检查。

关键词: 纤维水泥板; 回收纤维素纤维; 非破坏性测试; 声发射

Tests of Fiber Cement Materials Containing Recycled Cellulose Fibers

Krystof Szymko, Tomas Gorzela, Mateus Schabow

Affiliation: Faculty of Civil Engineering, Poland

Abstract: This paper presents the results of investigations into the effect of the use of recycled wastepaper cellulose fibers on the properties of fiber cement boards subjected to contamination by moisture. Four series of fiber cement boards were tested. A reference fiber cement board manufactured without the use of recycled cellulose fibers constituted as one of the series. The other three series consisted of boards differing in their recycled cellulose fiber content—ranging from 10% to 50% of the total cellulose fiber content. Specimens of the fiber cement boards were subjected to contamination by moisture by storing them in water for 1–96 h. Subsequently, their basic physical and mechanical parameters, i.e., mass moisture content, absorbability, and modulus of rupture (MOR), were tested. Then, the specimens were investigated by means of acoustic emission during three-point bending. Artificial neural networks were employed to analyze the acoustic emission test results. The tests clearly showed the amount of recycled wastepaper cellulose fibers and the length of storage in water to have an adverse effect on the boards, contributing to their degradation. This was reflected in the decrease of the acoustic emission (AE) events count recognized by the artificial neural networks, accompanying the rupture of fibers during the three-point bending of the specimens. To gain a more detailed insight into the changes taking place in the structure of the tested fiber cement boards, optical examinations were carried out by means of a scanning electron microscope. Interesting findings crucial for building practice were noted.

Keywords: Fiber cement boards; Recycled cellulose fibers; Non-destructive testing; Acoustic emission

引言:

在民用建筑的回收材料领域, 使用废旧纤维作为水泥复合材料的加固物具有巨大的潜力。与用原生木质纤维素纤维生产的纤维水泥相比, 优化后的再生复合材料呈现出可接受的性能。非商业性纤维废料的可用性也

支持它们在整个建筑部件的可持续生产方法中的潜在利用。例如, 粒化高炉矿渣(BFS)被证明是低成本住房中植物纤维加固的适当粘合剂。与商用普通波特兰水泥(OPC)相比, BFS的碱度较低, 这对于天然纤维加固水泥产品的长期耐久性是有利的。与传统的面团混合方法

相比, 泥浆真空脱水的制造过程, 以及随后的压制和空气固化, 使复合材料具有出色的机械和物理性能。真空脱水/压制固结法与纤维素纤维-水泥过渡区有关, 减少了高孔隙率和硅酸盐大晶体的发生率。水/粘合剂比率、复合材料的孔隙率、纤维形态和基质压实度被证明在纤维素纤维-水泥基材料的结果纤维-基质界面结合中起着关键作用。

捷克工程师Ludwig Hatschek开发了生产这种复合材料的技术并获得了专利。第一批板材含有石棉纤维。在石棉被发现是致癌物之后, 它们被纤维素纤维和合成纤维所取代。由水泥、纤维素纤维、合成纤维和各种创新的添加剂和混合剂组成, 目前生产的纤维水泥板是一种完全不同的建筑产品。纤维水泥板的添加成分和填料是石灰石粉、云母、珍珠岩、高岭土、微球和回收材料。因此, 纤维水泥板仍然是符合可持续发展原则的创新产品。

目前, 纤维水泥板经常被用于建筑外墙的覆层。在其使用过程中, 纤维水泥板暴露于各种环境因素、化学侵蚀(酸雨)、物理侵蚀(紫外线辐射)和高温(如火灾期间)。考虑到可持续发展的要求和对创新产品的寻求, 各种添加剂和回收材料, 如回收的废纸纤维素, 被用于生产纤维水泥板。其目的方面是为了创造一种环境友好型产品, 另一方面是为了降低生产成本。然而, 这引起了关于这种板材的物理和机械性能的问题, 特别是其耐久性。

本文讨论了这一问题, 介绍了对使用废纸和不使用废纸制造的部分商业化纤维水泥板的选定物理特性(吸收性和质量含水量)和机械特性(断裂模量(MOR))的测试结果。本文对质量含水量和断裂模量(MOR)进行了测试, 因为根据标准, 这些是表明纤维水泥板的耐候条件和耐久性的主要参数。然而, 这些都是基本的测试, 并不能深入了解在上述因素的作用下, 被测试板的结构所发生的破坏性变化。

在作者看来, 这种变化肯定会发生, 并且会影响到板材的进一步使用寿命。为了证明这一论点, 在三点弯曲过程中, 作者通过声发射(AE)对具有不同程度水分堆积特征的纤维水泥板试样进行了调查。调查的结果用人工智能(AI), 即人工神经网络进行了分析。

以前, 作者发现, 仅根据断裂模量(MOR)来评估导致被测纤维水泥板结构损坏的许多服务因素的影响是不充分的。这一次, 作者使用声发射(AE)方法来检查测试样品的退化情况, 作者能够在不仅是机械参数的基础上描述测试板结构的破坏性变化, 而且还能描述发生

在这些板中的声学现象。随后, 作者对记录的声发射信号进行了分析, 并在其基础上确定了分别伴随着水泥基体断裂和弯曲过程中纤维断裂的声谱模式。接下来, 通过人工神经网络识别AE记录中的参考模式。为了验证结果并更好地了解板材结构中发生的变化, 作者使用扫描电子显微镜(SEM)对后者进行了光学检查。

主要物理和强度特性的测试

本研究对象是纤维水泥板。应该注意的是, 回收的废纸纤维素更短, 机械参数比正常纤维素低30-50%, 而且还必须经过特殊的浸渍处理。这种处理增加了纤维素纤维的生物稳定性。当纤维素纤维用二癸基二甲基氯化铵(DDAC)或二癸基二甲基溴化铵(DDAB)处理时, 可以达到最佳效果。由于这些物质与低铜含量相结合, 该产品的特点是具有非常高的生物稳定性, 而且没有高的处理能量支出或纤维长度损失。

作者对四个系列的纤维水泥板进行了测试, 用字母A到D表示。板A被作为参考板, 没有添加回收纤维素纤维。而B、C和D板含有回收的纤维素纤维, 其含量分别为纤维素纤维总量的10%、25%和50%(按重量计算)。

风干板A的特点是具有最高的断裂模量, 而板D(含有50%的回收纤维素)的强度最低。此外, 板D的特点是强度实际上下降得最多——从13.18兆帕到6.76兆帕——由于水分的积聚。在水中储存时, 最佳的断裂模量参数的特点是不含回收材料的板A, 在这种情况下, 强度的下降是最小的。纤维水泥板的断裂模量随着其在水中储存的时间而减少。当木板中的回收纤维素含量增加时, 与具有相同成分的木板相比, 由于水分堆积, MOR有较大的下降趋势。

通过声发射和人工神经网络的手段进行测试

纤维水泥板通过声发射和人工神经网络的方式进行测试。一个频率响应为5 kHz-500 kHz的宽带传感器和一个AE信号分析仪被用于AE测量。

在测试之前, 每个系列(A、B、C和D)的10个20×100毫米的纤维板试样, 风干后在水中存放1、2和24小时, 准备好。以这种方式制备的试样被放置在强度测试机中, 进行三点弯曲, 期间记录断裂力F和声发射信号的痕迹。本研究对测试结果的分析涵盖了弯曲应力 σ_m 、MOR和比例极限(LOP)的痕迹, 也就是胡克定律的极限。从材料的弹性性能及其在使用再生纤维的影响下和在水中储存的影响下的变化的角度来看, 这个参数的分析很重要。AE信号的分析是基于记录的描述符, 如声发射事件计数 N_{ev} 和AE事件速率 N_{ev} , 以及基于AE信号的频率分布。

高能量的AE事件最常被传感器记录,而且它们很容易被识别。而低能量的事件可能会被微型测试器产生的背景噪声所淹没,因此难以识别。对声学频谱的分析可以揭示出以不同声学活动为特征的事件,包括伴随着纤维断裂的低能量事件。在测试中,频谱密度函数覆盖了1-40kHz的频率范围,每0.5kHz有80个间隔,代表其频率成分的总和。通过这种方式,信号被呈现在频域中。

人工神经网络被用来识别和分离由水泥基体断裂产生的信号和由包含在该基体中的纤维断裂产生的信号。在三点弯曲过程中,有大量的AE事件被记录下来。它们来自于不同的过程,并可能同时发生。弯曲期间登记的声发射(AE)信号的人工神经网络识别分三个步骤进行。首先,获得输入数据--参考频谱模式,该模式是通过实验分配给分别伴随着纤维断裂和基体断裂的信号以及来自背景噪声的信号。为满足神经分类算法的需要,参考光谱模式通过二进制编码被转换为适当的零一集。单向多层反向传播的人工神经网络被用来识别这些模式。

然后,以适当的组合和迭代次数来实现ANN的训练模式。获得的人工神经网络训练和测试结果,即人工神经网络的结构和权重,被保存下来,构成了训练好的人工神经网络,用于AE信号的识别。最后,弯曲过程中登记的AE信号被过滤,伴随着纤维断裂和水泥基质断裂的频谱模式被分配。登记的事件与其说是通过其能量来区分,不如说是通过其频谱特征来区分。因此,进行了光谱分析,以识别光谱特征,并分别将其分配给背景噪声、纤维断裂和水泥基体断裂。

纤维水泥板中的纤维含量和纤维的参数决定了复合材料的性能,特别是其断裂模量(MOR)。因此,分析弯曲过程中归因于纤维断裂的AE信号是评估含有回收纤维水泥纤维的板材性能的关键。含有大量回收纤维水泥纤维的板材不仅具有较低的MOR,而且由纤维断裂引起的注册事件数量也较少。

此外,板材的弹性损失和在弯曲试验中的相当大的变形是很重要的,它们随着板材成分中回收纤维含量的增加而增加。回收纤维含量较高的木板(木板C和D)在弯曲时,相当大的变形特征增加。这意味着纤维没有破裂,而是从水泥基体中拉出或被拉伸。

由于含有回收纤维水泥纤维的纤维水泥板的可吸收性特征增加,弯曲测试时间增加,在板子失效前测量的永久变形也增加。储存在水中导致弯曲过程中的声学活动降低,也就是说,登记的AE事件数量减少。这种减少对于含有回收纤维水泥纤维的板材来说尤其明显。随着板材

中再生纤维素纤维含量的增加,登记的AE事件的数量也在减少。在弯曲试验中,再生纤维素纤维的特点是声学活性低,随着木板在水中储存时间的延长,声学活性会逐渐降低。

伴随着纤维断裂的注册AE事件可以提供纤维水泥板中所包含的纤维数量的估计。然而,人们应该注意到,在弯曲试验期间,回收的纤维水泥显示较低的声学活动,这一点从含有回收纤维水泥的木板与参考木板(A系列)相比,登记的AE事件数量较少可以看出。在板材系列C和D的情况下,储存在水中不仅大大降低了它们的MOR,而且还降低了源自纤维断裂的声学活动。这是由于水分造成的纤维的减弱和它们与水泥基体的附着力的丧失。

比例限制(LOP)值的变化表明板材弹性性能的变化,包括由于添加了回收纤维而发生的板材结构的变化。纤维水泥比例较高的板材弹性变差,此外,在水里储存的影响下,板材的弹性几乎消失了。对于C和D系列,在水中储存超过一小时的板材,只在最初的弯曲阶段观察到板材的弹性特性。还应注意,对在水中储存超过24小时的纤维水泥板的初步研究表明,在弯曲试验期间,声学活性下降到低于可记录性的阈值。

扫描电子显微镜(SEM)检查

为了更详细地了解被测试的纤维水泥板在受到水分污染后的结构变化,本研究使用高分辨率环境扫描电子显微镜Quanta 250 FEG, FEI和EDS分析仪进行了光学检查。

在显微镜观察中,结构被确定为细孔,孔径高达50微米。在撕裂了最多500微米宽的纤维后,在突破部位可以看到空洞和凹槽。纤维水泥清晰可见,一层薄薄的水泥基质和水化产物覆盖在纤维的表面。图像中可以清楚地看到D板(再生纤维素含量为50%)断裂表面的众多纤维。与D板不同,A板的特点是结构更紧凑,纤维数量更少,这一点从两块板的不同密度和A板相当高的强度中得到证实。

D板的断裂表面在水中存放了24小时,然后受到三点弯曲的影响,其图像已经显示。可以看到在弯曲试验中被拉出的纤维留下的许多凹坑和沟槽。由于储存在水中,纤维失去了与水泥基体的附着力,无法承受弯曲过程中产生的应力。大多数纤维没有断裂,而是被拉出了虫孔,但没有产生任何可记录的AE事件。可以得出结论,在水里存放超过24小时的纤维水泥板在弯曲试验中登记的单一事件来自于少数发生破裂的纤维,这些纤维仍然没有失去对水泥基体的附着力。

结论

本研究对含有回收废纸纤维素纤维的纤维水泥板的调查显示,在测试的参数中存在明显的差异。从测试结果中可以得出以下结论:

- 板子中含有的回收纤维素纤维降低了其断裂模量(MOR)。板中回收纤维的百分比越高,MOR越低。

- 回收的纤维素纤维被发现对纤维水泥板有不利影响,因为它增加了纤维水泥板的吸收性。随着回收纤维在板材中的百分比增加,其质量含水量也在增加。随着板材在水中储存时间的增加,发现所有测试的纤维水泥板的断裂模量都在均匀下降。在回收纤维素纤维含量为50%的板材中,96小时内由于水分堆积导致的MOR下降达到了50%,而对于参考板材(A系列)来说,它达到了45%。

- 结合人工神经网络的声发射测试证实(根据伴随着纤维断裂的公认AE事件的计数),回收的纤维素纤维对纤维水泥板的性能有重大影响,反映在弯曲测试期间登记的AE事件的数量下降。

- 板子在水中存放1小时后,被认为是伴随着纤维断裂的AE事件的数量明显减少。在含有超过25%的回收纤维素纤维的板材中,由纤维断裂引起的AE事件的数量下降超过50%。

- 回收的纤维素纤维更容易受到水分堆积的影响,这导致了纤维水泥板强度的损失,同时也降低了弯曲时的声学活动。

- SEM检查显示,在储存在水中的木板中,大多数纤维在弯曲过程中没有破裂,而是被拉出了水泥基体中的虫孔,没有产生可记录的AE事件。

此外,在作者看来,值得注意的是,纤维水泥板的强度参数,在相对较短的时间内变得相当潮湿,恶化了,在板的表面出现了明显的变形,导致油漆涂层剥落和扭曲。

参考文献:

[1]Gorzela ńczyk T, Schabowicz K. Effect of freeze - thaw cycling on the failure of fibre-cement boards, assessed using acoustic emission method and artificial neural network. *Materials* 2019; 12: 2181.

[2]Adamczak-Bugno A, Gorzela ńczyk T, Krampikowska A, et al. Non-destructive testing of the structure of fibre-cement materials by means of a scanning electron microscope. *Bad. Nieniszcz. Diagn.* 2017; 3: 20 - 23.

[3]Claramunt J, Ardanuy M, Garc í a-Hortal JA. Effect of drying and rewetting cycles on the structure and physicochemical characteristics of softwood fibres for reinforcement of cementitious composites. *Carbohydr. Polym.* 2010; 79: 200 - 205.

[4]Mohr BJ, Nanko H, Kurtis KE. Durability of kraft pulp fibre-cement composites to wet/dry cycling. *Cem. Concr. Compos.* 2005; 27: 435 - 448.

[5]Pizzol VD, Mendes LM, Savastano H, et al. Mineralogical and microstructural changes promoted by accelerated carbonation and ageing cycles of hybrid fibre - cement composites. *Constr. Build. Mater.* 2014; 68: 750 - 756.

[6]Adamczak-Bugno A, Swit G, Krampikowska A. Time-frequency analysis of acoustic emission signals ́ generated by cement-fiber boards during bending test. *MATEC Web Conf.* 2018; 174: 1 - 10.

[7]Li Z, Zhou X, Bin S. Fibre-Cement extrudates with perlite subjected to high temperatures. *J. Mater. Civ. Eng.* 2004; 3: 221 - 229.

[8]Kaczmarek M, Piwakowski B, Drelich R. Noncontact Ultrasonic Nondestructive Techniques: State of the Art and Their Use in Civil Engineering. *J. Infrastruct. Syst.* 2017; 23: 45 - 56.

[9]D ębowski T, Lewandowski M, Mackiewicz S, et al. Ultrasonic tests of fibre-cement boards (in Polish). *Przegl ąd Spawalnictwa* 2016; 10: 69 - 71.

[10]Drelich R, Gorzelanczyk T, Pakuła M, et al. Automated control of cellulose fibre cement boards with a non-contact ultrasound scanner. *Autom. Constr.* 2015; 57: 55 - 63.

[11]Schabowicz K, Gorzela ńczyk T. A non-destructive methodology for the testing of fibre cement boards by means of a non-contact ultrasound scanner. *Constr. Build. Mater.* 2016; 102: 200 - 207.