

**Republic of Iraq
Ministry of Higher
Education and Scientific Research
University of Technology
Building and Construction Engineering Department**



Sustainable Processing to Produce Different Types of Wood-Based Cementitious Boards

A Thesis
Submitted to the Department of
Building and Construction Engineering in the
University of Technology
in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of
Doctor of Philosophy
in Building Materials
Engineering

By
Isam Mohamad Ali
M.Sc. (Eng.), 2007
Babylon University

Supervised By

Prof. Dr. Shakir A. Salih

Asst. Prof. Dr. Maan S. Hassan

Sep. 2015

Dhul Qadah 1436

160

23-M-2015

Abstract

In recent years, there has been increasing demand to recycle wastes produced by the agricultural and industrial processing in order to reduce environmental problems and promote sustainable development.

The aim of this thesis was to investigate the suitability of date palm (soft wood) and willow (hard wood) as cellulosic fibers for the production of wood-cement composite boards, in addition to enhance their compatibility with cement by using physical pretreatment processes and accelerated carbonation curing. All tests were carried out at equilibrium condition with different manufacturing parameters: chamber temperatures 25 °C, 50 °C and 75 °C, CO₂ concentrations 0%, 25%, 50% and 100% and chamber durations 90mins. and 180 mins.

A pressure controlled, fully saturated curing process was developed to enhance the bond between cellulosic fibers and the cementitious matrix to produce a superior wood-cement fiberboard. Experiments were performed to assess the physical and mechanical properties (density, flexural strength, toughness and modulus of elasticity) and microstructural properties (as determined by Thermogravimetric Analysis TGA, X-Ray Diffraction XRD and Scanning Electron Microscopy SEM) of the cement fiberboards. In addition, durability evaluations (repeated freezing - thawing, repeated wetting - drying and warm water immersion) for optimum board were also conducted.

Computational optimization was performed using the (SigmaXL Version 6.11/2011) depending on the analysis of Response Surface Method (RSM), using the Design of Experiments (DOE) principles in order to find the optimum content to produce wood fiber reinforced cementitious boards. The optimized accelerated hardening process will ensure high quality wood-cement composites.

Results showed that using of treated wood fibers in manufacture of wood-cement composite was significant in all properties investigated, by reducing

density (6.97% and 5.49%) and increasing flexural strength (271% and 181%) for willow and date palm fiberboards respectively.

Additionally, comparing with control mix (0 % CO₂), it was found that the increase in flexural strengths for 8% willow fiberboards was between (118%-224%), (32%-85%) and (1%-41%) for 25 °C, 50 °C and 75 °C respectively at 90 mins. On the other hand, the rate of increase in flexural strengths was between (6%-119%), (15%-55%) and (36%-179%) for 25 °C, 50 °C and 75 °C respectively at 180 mins. Moreover, for 8% date palm fiberboards, the flexural strength increased by (42%-59%), (19%-72%) and (33%-45%) for 25 °C, 50 °C and 75 °C respectively at 90 mins. While, the rate of increase in flexural strengths was between (14%-55%), (40%-100%) and (14%-24%) for 25 °C, 50 °C and 75 °C respectively at 180 mins.

These results showed an improvement in the physical and microstructural properties of cellulosic fiber-cement composites by using the optimum manufacturing parameters (100% CO₂, 90min., and 39 °C) for willow fiberboards and (60% CO₂, 138min., and 56 °C) for date palm fiberboards through accelerated CO₂ curing method. In addition, excessive carbonation rate associated with pure gas carbonation does not necessarily led to high strength.

The TGA and XRD results proved that, the aging effects led to increase Ca(OH)₂ and CaCO₃ contents associated with a reduction in the flexural performance, which could be attributed to extra carbonation during the aging process.

According to SEM micrographs, part of the carbonate crystals was found to be diffused into the fiber cell walls and cavities and were found to protrude from fiber surfaces. In unaged conventionally cured boards, the dominate mode of failure was fiber pull out with weak interfacial transition zone (ITZ). Consequently, in CO₂ cured boards, a combination of fiber fracture and pull out was observed with stronger and denser ITZ.



جمهورية العراق
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
الجامعة التكنولوجية
قسم هندسة البناء والانشاءات
فرع هندسة البناء وادارة المشاريع

التصنيع المستدام لإنتاج انواع مختلفة من الالواح السمنتية-الخشبية

رسالة مقدمة
الى قسم هندسة البناء والانشاءات في الجامعة التكنولوجية
كجزء من متطلبات نيل شهادة الدكتوراه فلسفة
في هندسة مواد البناء

من

عصام محمد علي

(ماجستير هندسة مدنية / جامعة بابل / 2007)

إشراف

أ.م.د. معن سلمان حسن

أ.د. شاكر احمد صالح

ايلول 2015

ذو القعدة 1436

التصنيع المستدام لإنتاج انواع مختلفة من الالواح السمنتية-الخشبية

الخلاصة

في السنوات الأخيرة هناك حاجة ملحة لإعادة تدوير المخلفات الناتجة من العمليات الصناعية والزراعية لغرض التقليل من المشاكل البيئية وتشجيع فرضيات الاستدامة.

تهدف هذه الدراسة للتحقق من ملائمة الياف النخيل (الخشب اللين) والياف الصفصاف (الخشب الصلب) لاستخدامها كإلياف سليولوزية في إنتاج الالواح السمنتية-الخشبية المركبة بالإضافة الى تحسين توافقيتها مع السمنت باستخدام المعالجات الفيزيائية المسبقة والانضاج المسرع بالكربنة. اجريت جميع الاختبارات للألواح في حالة توازن باستخدام عوامل تصنيع مختلفة: تراكيز (CO₂) 0% و 25% و 50% و 100% ودرجات حرارة إنضاج الغرفة 25 م° و 50 م° و 75 م° وفترات إنضاج الغرفة 90 دقيقة و 180 دقيقة.

تم تطوير عملية الإنضاج بوسط مشبع تماما" وبضغط مسيطر عليه لتحسين الترابط بين الالياف السليولوزية والمادة السمنتية الرابطة لإنتاج الواح الالياف السمنتية-الخشبية الفائقة الجودة. اجريت التجارب لتقييم الخواص الفيزيائية والميكانيكية مثل (الكثافة ومقاومة الانثناء والصلادة ومعامل المرونة) بالإضافة الى فحوص البنية المجهرية (والتي تم قياسها باستخدام التحليل الوزني الحراري وحيود الأشعة السينية والمجهر الماسح الالكتروني) لألواح الالياف السمنتية. بالإضافة الى ذلك تم تقييم الديمومة باستخدام (الانجماد-الذوبان المتكرر والتجفيف-الترطيب المتكرر والغمر في الماء الدفيء) للألواح المثلى فقط.

تم عمل برنامج امثلية حسابي باستخدام (SigmaXL Version 6.11/2011) بالاعتماد على طريقة تحليل الاستجابة السطحية وباستخدام مبادئ تصميم التجارب لغرض ايجاد المحتوى الامثل لإنتاج الالواح السمنتية المعززة بألياف الاخشاب. ستضمن امثلية عمليات التصلب المسرع جودة عالية للمركبات السمنتية-الخشبية.

اظهرت النتائج ان استخدام الياف الخشب المعالجة مسبقا" لتصنيع المركبات السمنتية-الخشبية كان مؤثرا" لكل الخواص المدروسة عن طريق تقليل الكثافة بمقدار (6.97% و 5.49%) وزيادة مقاومة الانثناء بمقدار (271% و 181%) لكل من الواح الياف الصفصاف والياف النخيل على التوالي.

بالإضافة الى ذلك وبالمقارنة مع الخلطة المرجعية (CO₂ 0 %) كانت الزيادة في مقاومة انثناء الواح الياف الصفصاف بين (118%-224%) و(32%-85%) و(1%-41%) عند درجة حرارة (25 م° و 50 م° و 75 م°) على التوالي ولمدة 90 دقيقة. من ناحية اخرى تراوحت قيم زيادة مقاومة الانثناء بين (6%-119%) و(15%-55%) و(36%-179%) عند درجة حرارة (25 م° و 50 م° و 75 م°) على التوالي ولمدة 180 دقيقة.

علاوة على ذلك تزايدت قيم مقاومة الانتشاء لألواح الياف النخيل بين (42%-59%) و(19%-72%) و(33%-45%) عند درجة حرارة (25 °م و 50 °م و 75 °م) على التوالي ولمدة 90 دقيقة. بينما تراوحت هذه الزيادة في مقاومة الانتشاء بين (14%-55%) و(40%-100%) و(14%-24%) عند درجة حرارة (25 °م و 50 °م و 75 °م) على التوالي ولمدة 180 دقيقة.

اظهرت هذه النتائج تحسنا" في الخواص الفيزيائية والميكانيكية للألواح السمنتية-السليولوزية المركبة عند استخدام متغيرات التصنيع المثلى وهي (100% CO₂, 90min., and 39 °C) لألواح الياف الصفصاف و(60% CO₂, 138min., and 56 °C) لألواح الياف النخيل لطريقة الانضاج المعجل بغاز (CO₂). بالإضافة الى ذلك لم تؤدي الكربنة المفرطة بالغاز النقي الى مقاومة اعلى بل وجد انها تحد من تطور القوة للعجينة السمنتية. اثبتت نتائج التحليل الوزني الحراري وحيود الاشعة السينية ان التقادم يزيد من محتوى هيدروكسيد الكالسيوم وكربونات الكالسيوم مصحوبا" بنقصان في اداء الانتشاء وهذا يمكن ان ينسب الى الكربنة الاضافية التي تحدث اثناء عملية التقادم.

وفقا" لصور المجهر الماسح الالكتروني لوحظ ان جزء من بلورات الكربونات المتكونة تنتشر ضمن تجاويف خلايا الجدران وتترجم كذلك من سطح هذه الالياف. كذلك فان طبيعة الفشل السائد في الالواح غير المعمرة كان قلع الليف مصحوبا" بمنطقة بينية ضعيفة. على النقيض من ذلك فان طبيعة الفشل السائد للألواح المنضجة بغاز ثاني اوكسيد الكربون كان مزيج من كسر الليف وقلع الليف مصحوبا" بوجود منطقة بينية قوية وكثيفة.

List of Publications

1. “Innovation a new environmental method to produce cementitious boards reinforced with local wood fibers accelerated cured in a pressure vessel containing CO₂”, A Patent No. 4267, Central Organization for Standardization and Quality Control, Baghdad, Iraq, 2015, pp. 1-22.
2. “Strength Evaluation of CO₂-Cured Cellulose Date Palm Fiber Reinforced Cementitious Boards”, A paper submitted to the Journal of Engineering and Technology, Baghdad, Iraq, 2015, pp. 1-21.