

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



# **Flexural Performance of Reinforced Concrete Beams Strengthened with Near Surface Mounted Carbon fibre Reinforced Polymer Laminates and Bars Under Elevated Temperature**

**A Thesis**

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

**By**

**Ikram Amin Saeed**

**(B.Sc.), 1986**

**(M.Sc.), 2002**

**Supervised by**

**Prof. Dr. Tareq S. Al-attar**

**Asst. Prof. Dr. Basil S. Al-Shathr**

**Prof. Dr. Riadh S. Al-Mahaidi**

**January 2017**

**Rabi Thani 1438**

## **ABSTRACT**

Near surface mounted (NSM) technique recently has been used for concrete structures strengthening with FRP. It is considered as a promising technique in retrofitting and strengthening RC structures in both shear and flexure loading system. Researches available up to now are focusing foremost on overall member behavior. Furthermore, current researches also are focusing on different parameters that have effect on NSM laminate or NSM bars bond performance. However, few research have focused on how NSM FRP are affected when exposed to high temperature. An experimental program was carried out on a total fifteen large scale RC beams to investigate the behavior of unstrengthened and strengthened beams when subjected to high temperature conditions. Twelve of the beams were strengthened with NSM-FRP laminates and bars where strips include both smooth and rough FRP strips and the remaining three beams where unstrengthened to be referred to as control beams when analyzing the tests results. The experimental program subject the strengthened beams to high temperature degrees up to 600 °C in electric furnace and observe changes after beams been heated.

The effect of using cement-based adhesive, two different NSM CFRP laminate surfaces, and two different NSM CFRP configurations (bars and strips) were studied. Furthermore, investigate involvement of insulation system (plasterboard) for protection the beams under heat exposure. A photo imaging instrumentation technique (photogrammetry) is applied to record strains value on specimens and compared with the conventional instrumentation techniques.

Results showed that the reinforced concrete beams strengthened with NSM CFRP retained 100% of their unstrengthened ultimate load and about 82% - 61% of their unheated strengthened ultimate load after heat exposure, although the CFRP temperature exceeded the glass transition temperature of each CFRP type. This means that keeping the temperature below CFRP's glass transition temperature to attain the endurance of structural high temperature is not needed. This is due to good performance of the cement-based adhesive achieved at 600°C and the good protection provided to the CFRP through embedment in the grooves. Moreover, the plasterboards provided excellent protection and decreased the CFRP temperature of about 42-24%. The insulated beams behaved as good as that of strengthened beams prior to expose to 600°C.

Advanced non-linear finite element analyzing software (ATENA) was used for modeling the tested beams and compared against experimental test results.

Diameter of CFRP bars, CFRP laminates number and concrete compressive strength parameters effects on ultimate load capacity and behavior of NSM CFRP strengthened beam in both ambient and elevated temperatures were assessed by carrying out a parametric study.

Finite element modeling accuracy was confirmed by the results obtained which were satisfactory when compared with the experimental results.

CFRP bars diameter, CFRP laminated number and concrete compressive strength moderately influence NSM CFRP performance of the strengthened beams in both elevated temperature and ambient circumstances and this was concluded based on the parametric study results.

## الخلاصة

تقنية التقوية القريبة من السطح قد استعملت مؤخراً لتعزيز المنشآت الخرسانية باستعمال الواح وقضبان بوليمرية مدعمة بألياف الكربون. هذه التقنية من التقنيات الواعدة لإعادة تأهيل وتقوية المنشآت الخرسانية المسلحة في تحميل القص والانحناء. عدد من البحوث ناقشت عدد من العوامل التي لها تأثير على خصائص الربط للالواح والقضبان المستخدمة في عملية التقوية القريبة من السطح بالإضافة الى دراسة السلوك العام للمنشأ. هناك عدد قليل من البحوث التي تتناول سلوك الالواح والقضبان البوليمرية المدعمة بألياف الكربون عند تعرضها لدرجات حرارية عالية.

هذا البحث هو دراسة عملية ونظرية على سلوك العتبات الخرسانية المسلحة والمعززة بتقنية التقوية القريبة من السطح باستخدام الواح وقضبان بوليمرية مدعمة بألياف الكربون ومونة سمنتية كمادة رابطة بدلاً عن الايبوكسي تحت تأثير الحرارة العالية. تم تنفيذ برنامج عملي على خمسة عشر عتبة خرسانية لتحري تصرف كل من العتبات العادية والمعززة تحت ظروف حرارة عالية. اثني عشر عتبة خرسانية تمت تقويتها باستعمال تقنية التقوية القريبة من السطح مع قضبان بوليمرية وألواح ذات سطح ناعم وخشن. والثلاث عتبات الخرسانية المتبقية تمت ابقائها بحالتها الطبيعية (بدون تقوية) لاستعمالها كعتبات مرجعية عند دراسة ومقارنة النتائج. البرنامج العملي يتضمن تعريض العتبات الخرسانية الى درجة حرارة عالية ما يقارب الـ 600 درجة مئوية باستخدام فرن كهربائي وتركها عند هذه الدرجة الحراية مدة ساعتين ثم تبرد الى درجة حرارة الغرفة ثم فحصها بطريقة التحميل الثنائي لدراسة التغيرات التي طرأت عليها.

تمت دراسة تأثير كل من استعمال مونة خرسانية و استعمال نوعين من الواح الالياف البوليمرية (خشنة وناعمة السطح) و استعمال نوعين من المواد البوليمرية المدعمة بألياف الكربون (الواح وقضبان). إضافة إلى ذلك تمت دراسة تأثير استعمال ألواح جبسية كمادة للعزل الحراري عند تعريض العتبات الخرسانية لدرجات الحرارية العالية. تم استعمال آلة تصويرية خاصة لقياس الانفعالات المتكونة على العينات بالإضافة الى استعمال تقنيات تقليدية لقياس الانفعال.

النتائج العملية اظهرت أن العتبات الخرسانية المعززة بتقنية التقوية القريبة من السطح والمعرضة للحرارة استعادت 100% من الحمل الأقصى لها بالمقارنة مع العتبات الغير معززة، بينما استعادت ما يعادل 82-61% بالمقارنة مع نفس العتبات المعززة والمفحوصة بدرجة حرارة الغرفة بالرغم من وصول درجة حرارة المواد البوليمرية المستخدمة في التعزيز الى درجة حرارية اعلى من درجة حرارة التزجج لها. وهذا يعود الى أن تقنية التقوية القريبة من السطح وفرت حماية جيدة للمواد البوليمرية المدعمة بألياف الكربون من خلال ابعادها عن السطح الخارجي للعتبة الخرسانية وادخالها في الاخدود المهيأ لهذه التقنية، بالإضافة الى السلوك الجيد للمونة السمنتية عند تعرضها للحرارة العالية والتي تفوق سلوك الايبوكسي.

أظهرت النتائج العملية أن استخدام الألواح الجبسية في العزل الحراري للعتبات الخرسانية وفّر حماية أكثر للمواد البوليمرية المدعمة بألياف الكربون المستخدمة في التقوية مما أدى الى ان العتبات الخرسانية استعادت 100% من الحمل الأقصى لها بالمقارنة مع نفس العتبات المعززة والمفحوصة بدرجة حرارة الغرفة.

في الجانب النظري تم تحليل العتبات المفحوصة بطريقة العناصر المحددة اللاخطية باستعمال البرنامج الجاهز (ATENA). تم استخدام نموذج العناصر المحددة لاستخراج التحمل الأقصى للعتبات، منحنى الحمل مع الهطول، ونوعية الفشل ولجميع العتبات قيد البحث. هذا بالإضافة الى استخدام النموذج لفحص سلوك وكفاءة عتبات مماثلة لكن بمتغيرات جديدة غير متضمنة في الجانب العملي للبحث مثل مقاومة الانضغاط

للخرسانة، عدد طبقات الألواح البوليمرية المدعمة بألياف الكربون، وقطر قضبان البوليمر المدعمة بألياف الكربون. النتائج أظهرت توافق جيد مع النتائج العملية. كما أوضحت دراسة العناصر البارامترية أن مقاومة الانضغاط وعدد الواح البوليمر المدعمة بألياف الكربون وقطر قضبان البوليمر المدعم بألياف الكربون يعتبر تأثيرها ثانوياً على سلوك العتبات الخرسانية المسلحة والمعززة بألواح وقضبان البوليمر المدعمة بألياف الكربون والمعرضة لدرجة حرارة 600 درجة مئوية من حيث زيادة تحملها النهائي ، تغيير شكل منحني الحمل والهطول، ونوعية الفشل.



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

# أداء الإنشاء العتبات الخرسانية المسلحة والمعززة بطريقة التقوية القريبة من السطح باستخدام ألواح وقضبان بوليمرية مدعمة بألياف الكربون تحت تأثير الحرارة العالية

إطروحة مقدمة الى  
قسم هندسة البناء و الانشاءات في الجامعة التكنولوجية  
وهي جزء من متطلبات نيل شهادة دكتوراه فلسفة  
في هندسة مواد البناء

من قبل

إكرام أمين سعيد

بكالوريوس 1986

ماجستير 2002

إشراف

أ.م.د. باسل صلاح الشذر

أ.د. طارق صالح العطار

أ.د. رياض صالح المهدي