

تدعيم منشآت الخرسانة بإستخدام المواد المستحدثة

المخلص

إُستخدمت مؤخراً المواد المركبة المستحدثة في العديد من تطبيقات الهندسة الإنشائية وخاصة في تقوية وتدعيم العناصر الإنشائية المختلفة بالمباني الخرسانية. وسيتم في ورقة العمل إستعراض خواص ومزايا هذه المواد وعرض الطرق الحديثة المستخدمة لتدعيم وإعادة تأهيل المنشآت الخرسانية بإستخدام المواد البوليمرية المسلحة بألياف الزجاج أو الكربون.

١. مقدمة

أُستخدمت ألواح الصلب لتدعيم المنشآت الخرسانية لفترة طويلة، وفي خلال العقد الماضي تم إستخدام المواد المركبة المستحدثة (Advanced Composite Materials) في العديد من تطبيقات الهندسة الإنشائية. ولذا فقد إتجه المهندسون إلى إستخدام ألواح (Strips) أو رقائق (Sheets) مصنعة من المواد البوليمرية المسلحة بألياف الزجاج أو الكربون (Carbon or Glass Fibre Reinforced Polymers) كبديل لألواح الصلب في تقوية العناصر الإنشائية المختلفة بالمباني الخرسانية.

وقد بدأت دراسة إستخدام المواد البوليمرية المسلحة بألياف الزجاج أو الكربون في تقوية العناصر الإنشائية المختلفة بالمباني الخرسانية في سويسرا عام ١٩٨٤ [١] بإختبار كميات خرسانية مسلحة مقواة بألواح المواد البوليمرية المسلحة بألياف الكربون وتبع نجاح هذه التجارب العديد من الدراسات والأبحاث التي ساهمت في زيادة كفاءة تقنيات إستخدام المواد المركبة المستحدثة في تدعيم وتقوية وإعادة تأهيل المنشآت الخرسانية. كما استهدفت هذه الدراسات - ومازالت - إستحداث معادلات ومواصفات تصميم تُقنن إستخدام المواد المركبة المستحدثة في مختلف التطبيقات الهندسية [٢-١٢].

وقد كان السبب الرئيسي في تأخر إستخدام المواد المركبة المستحدثة في تطبيقات الهندسة الإنشائية هو إرتفاع تكلفتها. ولكن في العشر السنوات الأخيرة إنخفضت هذه التكلفة بنسبة كبيرة مما ساعد على إستخدام هذه المواد بصورة واسعة في مختلف مجالات الهندسة الإنشائية.

٢. المواد البوليمرية المسلحة بالألياف

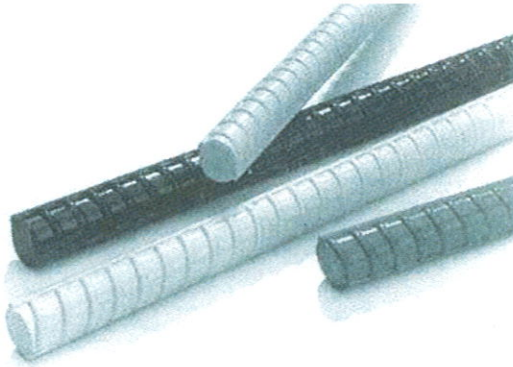
يُستخدم حاليا في الهندسة الإنشائية العديد من أنواع المواد المركبة المستحدثة ومنها:

١. قضبان مصنعة من المواد البوليمرية المسلحة بألياف الزجاج أو الكربون وتستخدم كبدايل لحديد التسليح في الخرسانة المسلحة.

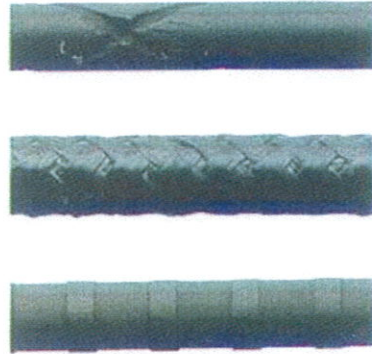
٢. قضبان أو كابلات من المواد البوليمرية المسلحة بألياف الكربون حيث تستخدم بصورة رئيسية كبدايل لكابلات سبق الإجهاد في الخرسانة سابقة الإجهاد أو كبدايل لكابلات الكباري الملجمة.

٣. ألواح ورقائق مصنعة من المواد البوليمرية المسلحة بألياف الزجاج أو الكربون وتستخدم في تقوية وتدعيم وإعادة تأهيل المنشآت بصفة عامة.

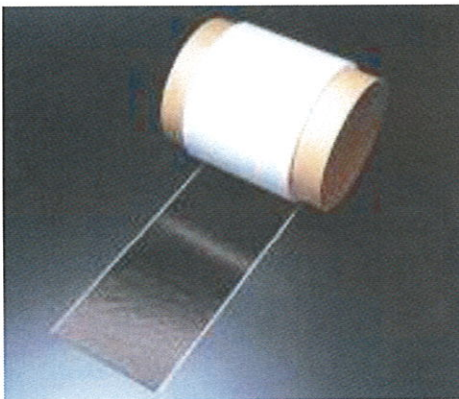
ويوضح الشكل رقم ١ بعض أنواع المواد المركبة المستحدثة.



قضبان المواد البوليمرية المسلحة بألياف الزجاج



قضبان المواد البوليمرية المسلحة بألياف الكربون



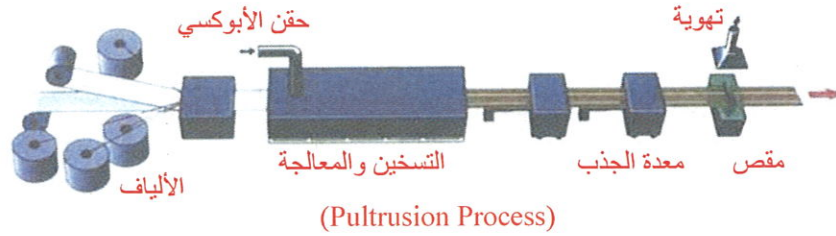
رقائق المواد البوليمرية المسلحة بألياف الكربون



ألواح المواد البوليمرية المسلحة بألياف الكربون

شكل رقم ١. بعض أنواع المواد البوليمرية المسلحة بألياف الزجاج أو الكربون

ومن أشهر الطرق المستخدمة في تصنيع المواد البوليمرية المسلحة بألياف الزجاج أو الكربون الطريقة الموضحة بالشكل رقم ٢. وتصنف المواد البوليمرية المسلحة بالألياف والمستخدم في تطبيقات الهندسة الإنشائية طبقاً لنوعية الألياف المستخدمة بها حيث تعد المواد البوليمرية المسلحة بألياف الزجاج والمواد البوليمرية المسلحة بألياف الكربون الأكثر شيوعاً وإستخداماً في المنشآت.



شكل رقم ٢. إحدى طرق تصنيع المواد البوليمرية المسلحة بالألياف

٣. خواص ومميزات المواد البوليمرية المسلحة بالألياف

تعتمد خواص المواد البوليمرية المسلحة بالألياف على نوع الألياف المستخدمة بها ويوضح الجدول رقم ١ مقارنة بين بعض خواص هذه المواد وخواص حديد التسليح أو الحديد العالي المقاومة المستخدم في سبق الإجهاد.

ومن المميزات الرئيسية للمواد البوليمرية المسلحة بالألياف:

١. المقاومة العالية للتآكل و الظروف الجوية والبيئية المختلفة بالمقارنة بالحديد.
٢. تعتبر هذه المواد خفيفة الوزن جداً مما يسهل إستخدامها في مختلف التطبيقات الإنشائية.
٣. تمتاز المواد البوليمرية المسلحة بالألياف بمقاومة شد عالية مقارنةً بالحديد ولذا فإن لها نسبة مقاومة إلى وزن عالية.
٤. تعتبر مقاومة المواد البوليمرية المسلحة بالألياف للكلال والأحمال الديناميكية ممتازة.

٤. المواد البوليمرية المسلحة بالألياف وتدعيم المنشآت الخرسانية

يتم حالياً إستخدام المواد المركبة المستحدثة بصورة واسعة وغير مسبقة في تقوية المنشآت الخرسانية حيث تستخدم الألواح المصنعة من المواد البوليمرية المسلحة بألياف الزجاج أو الكربون في تدعيم وإعادة تأهيل الكمرات وبلاطات الأسقف الخرسانية لزيادة مقاومتها لعزوم الانحناء. كما تستخدم الرقائق المصنعة من المواد البوليمرية المسلحة بألياف الزجاج أو الكربون في تدعيم وإعادة تأهيل الكمرات الخرسانية لزيادة مقاومتها للقص أو عزوم الالتواء. و تستخدم هذه الرقائق أيضاً لتدعيم الأعمدة

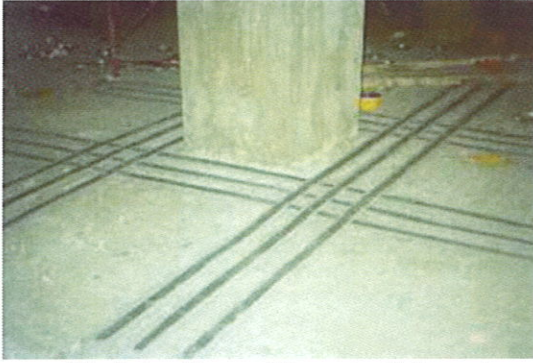
الخرسانية وزيادة مقاومتها للأحمال الرأسية أو إعادة تأهيلها لزيادة تحملها للزلازل. وقد بدأ أيضاً استخدام كل من الرقائق والألواح في تدعيم وتقوية حوائط الطوب الخرساني و حوائط المباني القديمة في أماكن متفرقة من العالم.

جدول رقم ١. بعض الخواص الميكانيكية للمواد البوليمرية المسلحة بالألياف

المواد البوليمرية المسلحة بألياف الزجاج	المواد البوليمرية المسلحة بألياف الكربون	الحديد (ألواح الحديد أو حديد التسليح)	حديد سبق الإجهاد عالي المقاومة
١٠٨٠	٢٥٠٠	٥٠٠ (٤٠٠ حد الخضوع)	١٨٦٠
٣٩	٥٧	٥٠٠ (٤٠٠ حد الخضوع)	١٨٦٠
٣٩	١٤٢	٢٠٠	١٩٠
٨.٦	١٠.٣	٢٠٠	١٩٠
٠.٢٨	٠.٢٧	٠.٣	٠.٣
٠.٠٦	٠.٠٢	٠.٣	٠.٣
٢.٨	١.٥	١٢.٠	٤.٠
٢.١	١.٦	٧.٨٥	٧.٨٥

٤-١ تدعيم وإعادة تأهيل بلاطات الأسقف الخرسانية

يوضح الشكل رقم ٣ أحد الأسقف الخرسانية والذي ظهرت به شروخ بعد رفع الشدات مباشرةً ولذا إحتاج هذا السقف إلى تدعيم والذي تم باستخدام ألواح مصنعة من المواد البوليمرية المسلحة بألياف الكربون [١٣]. وقد تم زيادة مقاومة بلاطات هذا السقف الخرساني لعزوم الإنحناء سواء في منتصف البحر أو في حيز الأعمدة بدون أي زيادة في عمق بلاطات السقف الخرساني أو استخدام أي ألواح صلب أو تسليح إضافي. ويوضح الشكل رقم ٣ أيضاً سهولة تنفيذ تقوية هذه الأسقف بدون الحاجة إلى تكسير أو هدم الحوائط أعلاه أو أي أجزاء من البلاطات أو الكمرات كما هو متبع في الطرق التقليدية المستخدمة لتدعيم الأسقف.



تدعيم السقف في منطقة عزوم الإنحناء السالبة



تدعيم السقف بدون الحاجة إلى تكسير الحوائط



تدعيم السقف في منطقة عزوم الإنحناء الموجبة

شكل رقم ٣. تدعيم سقف خرساني باستخدام المواد البوليمرية المسلحة بألياف الكربون

٢-٤ تدعيم وإعادة تأهيل الكمرات الخرسانية

ظهرت شروخ متعددة في كمرات أسقف أحد المنشآت وبعد دراسة أسباب ظهور هذه الشروخ إتضح أن بعض هذه الكمرات تحتاج إلي تدعيم لزيادة مقاومتها لعزوم الإنحناء وهي الكمرات التي ظهرت بها شروخ في منتصف البحر. كما إتضح أن كمرات أخرى تحتاج إلى تدعيم لزيادة مقاومتها للقص وهي الكمرات التي ظهر بها شروخ مائلة بجوار الأعمدة. كما وجدت كمرات أخرى تحتاج إلى تدعيم لزيادة مقاومتها لعزوم الالتواء حيث ظهر بها شروخ شبه حلزونية [١٤]. وقد تم تدعيم النوع الأول من هذه الكمرات باستخدام ألواح مصنعة من المواد البوليمرية المسلحة بألياف الكربون أما النوعين الثاني والثالث فقد تم تدعيمهما باستخدام رقائق مصنعة من المواد البوليمرية المسلحة بألياف الكربون (شكل رقم ٤).

ويوضح الشكل رقم ٥ إعادة تأهيل وتقوية كمرات سابقة التجهيز باستخدام ألواح ورقائق مصنعة من المواد البوليمرية المسلحة بألياف الكربون ويبلغ عمر هذه الكمرات أكثر من ٤٠ عاماً [٤]. ويتضح عليها سوء حالة حديد التسليح (صدأ الحديد) و الشروخ المختلفة وانهيار الغطاء الخرساني في أكثر من

موضع. وقد تم إقتراح تفاصيل إنشائية جديدة ترفع كفاءة تقنية التدعيم وإعادة التأهيل بإستخدام الألواح والرقائق المصنعة من المواد البوليمرية المسلحة بألياف الكربون.



تدعيم الكمرات بألواح المواد البوليمرية المسلحة بألياف الكربون
لزيادة مقاومتها لعزوم الإنحناء



تدعيم الكمرات برقائق المواد البوليمرية
المسلحة بألياف الكربون



تدعيم الكمرات برقائق المواد البوليمرية المسلحة بألياف
الكربون لزيادة مقاومتها للقص



تدعيم الكمرات برقائق المواد البوليمرية المسلحة بألياف
الكربون لزيادة مقاومتها لعزوم الالتواء

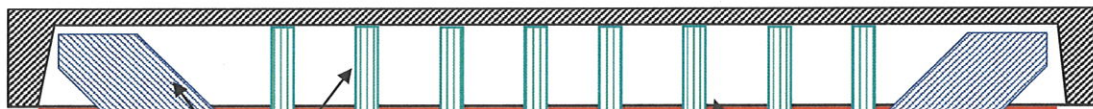
شكل رقم ٤. تدعيم الكمرات الخرسانية بألواح ورقائق المواد البوليمرية المسلحة بألياف الكربون



الحالة الراهنة للكمرات: صدأ حديد التسليح - أنهيار الغطاء الخرساني لحديد التسليح - شروخ متنوعة



حالة الكمرات بعد تدعيمها بألواح ورقائق المواد البوليمرية المسلحة بألياف الكربون



ألواح المواد البوليمرية المسلحة بألياف الكربون رقائق المواد البوليمرية المسلحة بألياف الكربون أو الزجاج

التفاصيل الإنشائية المقترحة لزيادة كفاءة التدعيم بالمواد البوليمرية المسلحة بألياف الكربون

شكل رقم ٥. إعادة تأهيل كمرات خرسانية بعمر ٤٠ عاماً بالمواد البوليمرية المسلحة بألياف الكربون

٣-٤ تدعيم وإعادة تأهيل الأعمدة الخرسانية

يتم تدعيم وإعادة تأهيل الأعمدة الخرسانية باستخدام رقائق المواد البوليمرية المسلحة بألياف الكربون سواء باستخدام طبقة واحدة أو عدة طبقات من هذه الرقائق. ويوضح الشكل رقم ٦ تدعيم الأعمدة الخرسانية.

لأحد الكباري و أعمدة أخرى لمبنى متعدد الطوابق مخصص لإن انتظار السيارات وذلك باستخدام الرقائق البوليمرية المسلحة بالألياف الكربون.



شكل رقم ٥. إعادة تأهيل أعمدة خرسانية لكوبري وجراج متعدد الطوابق برفائق بالمواد البوليمرية المسلحة بالألياف الكربون

٤-٤ طريقة التدعيم بالمواد البوليمرية المسلحة بالألياف

- يتم كشف الخرسانة بإزالة أي طبقات خارجية من الدهانات ثم تملأ الشروخ والفلاغات ويسوى سطح الخرسانة.
- تحمل ألواح المواد البوليمرية المسلحة بالألياف بطبقة من الإيبوكسي بسمك لا يزيد على ١.٥ مم (شكل رقم ٧) و توضع هذه الألواح في مكانها على الكمرات.
- في حالة استخدام رقائق المواد البوليمرية المسلحة بالألياف يوضع الأبوكسي على سطح الخرسانة مباشرة و تفرد عليه الرقائق (شكل رقم ٤).



شكل رقم ٦. خطوات تثبيت ألواح المواد البوليمرية المسلحة بألياف الكربون على الخرسانة

٥. الخلاصة

تم استعراض خواص ومزايا المواد المركبة المستحدثة كما تم عرض الطرق الحديثة المستخدمة لتدعيم وإعادة تأهيل المنشآت الخرسانية باستخدام المواد البوليمرية المسلحة بألياف الزجاج أو الكربون.

٦. المراجع

1. Meier, U., Deuring, M., Meier, H., and Schwegler, G. 1993. CFRP bonded sheets. Fibre Reinforced Plastic (FRP) reinforcement for concrete structures: properties and applications. Nani, A. (editor), Elsevier Science, Amsterdam, The Netherlands.
2. ACI Committee 440. 1996. State-of-the-art report on FRP for concrete structures. American Concrete Institute, ACI 440R-96.
3. El-Badry, M. (Editor). 1996. Advanced composite materials in bridges and structures. Proceedings, ACMBS-II, Montreal, Canada. 1027p.
4. Sayed-Ahmed, E.Y., Riad, A.H., Shrive, N.G. 2003. Flexural Strengthening of Precast Reinforced Concrete Bridge Girders Using Bonded CFRP Strips or External Post-Tensioning. (Submitted) Journal of Structural Engineering, American Society for Civil Engineering.
5. Bonacci, J.F., and Maalej, M. 2000. Externally bonded FRP for service-life extension of RC infrastructure. Journal of Infrastructure Systems, ASCE, 6(1):41-51.
6. Hamilton, H.R., and Dolan, C.W. 2000. Durability of FRP reinforcements for concrete. Progress in structural engineering and materials. Vol. 2, pp. 139-145.
7. Neale, K.W., and Labossière, P. 1997. State-of-the-art report on retrofitting and strengthening by continuous fibre in Canada, Non-metallic (FRP) reinforcement for concrete structures, Proceedings of the Third International Symposium (FRPRCS-3), Japan Concrete Institute, Vol. 1, pp. 25-39.
8. Neale, K. W. 2000. FRPs for structural rehabilitation: a survey of recent progress. Progress in structural engineering and materials. Vol. 2, pp. 133-138.
9. Shaw, M.A., and Drewett, J.F. 1999. Case studies of carbon fibre bonding worldwide, Strengthening of reinforced concrete structures using externally bonded FRP composites in structural and civil engineering. Hollaway, L.C. and Leeming, M.B. (editors), Woodhead Publishing, Cambridge, UK.
10. Nanni, A. 1995. Concrete repair with externally bonded FRP reinforcement: examples from Japan. Concrete International, 17(6):22-25.
11. Nanni, A. 1997. CFRP strengthening. Concrete International, ACI, 19(6):19-23.
12. Saadatmanesh, H., and Ehsani, M.R. 1991. RC beams strengthened with GFRP plates I: experimental study. Journal of Structural Engineering. ASCE 117 (11):3417-3433.
13. Hosny, A.H., Sayed-Ahmed, E.Y., Abdelrahman, A.A., El-Ghandour, A.W. 2001. Use of FRP in Concrete and Masonry Structures: Strengthening, Reinforcement and Prestressing. The International Workshop on Structural Composites for Infrastructure applications, Cairo, Egypt, May 28-30, 2001.
14. Abdelrahman, A. A. Personal Communication.