دليل المهندس
في أعمال التشييد والبناء

٨- الخرسانة الخاصة

دليل المهندس
في أعمال التشييد والبناء
٨- الخرسانة الخاصة

اعداد ومادة علمية
مهندس / محمد أبو الفتوح السيد حجاج
مراجعة
مهندس / مرتضى على عبد الله
اعتماد
مركز تطوير الدراسات والبحوث ـ
كلية الهندسة ـ جامعة القاهرة

مدير معهد تدريب الهرم
مهندس / أحمد زكى أحمد خالد

الطبعة الثانية إبريل ١٩٩١

الفهرس

مقدمـــه

أولا : الخرسانة عالية المقاومة

- المواد المستخدمة ونسب خلطها

- مميزات الخرسانة عالية المقاومة

ثانيا : خرسانة تحمل الحريق

ثالثا : خرسانة الأجواء الباردة

رابعا : الخرسانة الليفية

بسم الله الرحمن الرحيم

الخرسانة الخاصة (Special Concrete)

مقدمـــه : ـ

توجد عدة أنواع من الخرسانات الخاصة والتى تجهز لأغراض معينة ومنها الخرسانة عالية المقاومة ، خرسانة الأجواء الباردة ، الخرسانة المقاومة للحريق ، الخـرسانـة الليفية ، الخـرسانـة الكبريتيـة ، الخرسـانة الثقيلة والخرسانة المقاومة للاشعاعات . . . . . الخ

وفيما يلى شرح لبعض أنواع الخرسانة الخاصة .

أولا : الخرسانة عالية المقاومة High Strength Concrete

تتميز الخرسانة عالية المقاومة بأن مقاومة الضغط لها بعد ٢٨ يوم تصل الى ١١٠٠كجم/سم^{٢} وتحتاج صناعة هذه الخرسانة الى مواد ذات خواص عالية كما يجب تحقيق مواصفات خاصة للحصول على مقاومة الضغط المطلوبة

١ ـ المواد المستخدمة ونسب خلطها

(أ) **الاسمنت** : لاشك ان اختيار نوع وكمية الاسمنت المستخدم فى الخرسانة عالية المقاومة ذو اهمية كبرى مما يحتم اختبار درجة تجانس الأسمنت وكمية ونسب ثلاثى سليكـات الكالسيـوم والكبريتات .

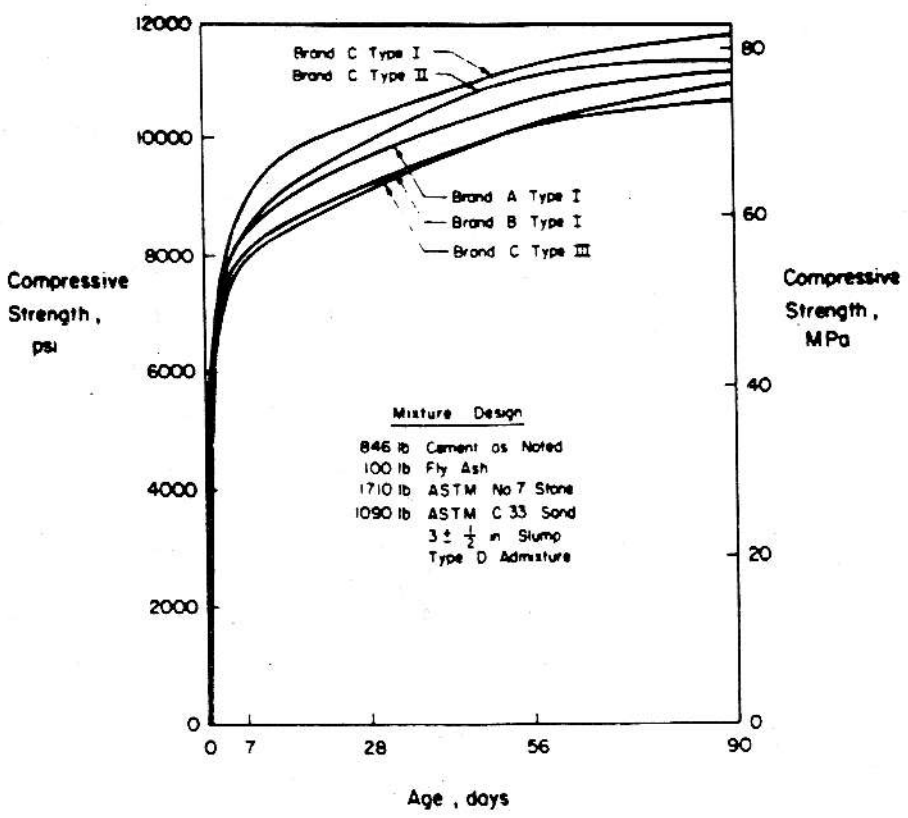
ويبين الشكل رقم (١) العلاقة بين مقاومة الضغط والعمر لخلطات خرسانية مجهزة من عدة أنواع مختلفة من الأسمنت .

ومن نتائج اختبار خلطات تجريبية عديدة وجد ان محتوى الاسمنت المناسب للحصول على مقاومة الضغط العالية يتراوح بين ٣٩٠ ـ ٥٦٠ كجم / م^{٣}

(ب) **الركام** : يحتل الركام اهمية كبرى للخرسانة عالية المقاومة حيث انه يمثل الحجم الأكبر بين عناصر الخلطة الخرسانية ومن الطبيعى ان الخرسانة عالية المقاومة تحتاج الى نوع من الركام الكبير عالى المقاومة (ذو معامل تهشيم صغير)

الركام الصغير افادت التجارب المعملية ان الركام الصغير (الرمل) ذو الحبيبات الدائرية الملساء من الأنواع المفضلة لانتاج خرسانة عالية المقاومة .

كما ان الرمل الذى له معاير نعومة حوالى ٣ يعطى افضل تشغيل وأكبر مقاومة ضغط باعتبار اخذ نفس مواصفات التدرج الحبيبى الخاصة بالخرسانة متوسطة المقاومة .



شكل (١) تأثير نوع الأسمنت على مقاومة الخرسانة للضغط

الركام الكبير :-

اظهرت التجارب المعملية انه للحصول على مقاومة الضغط المثلى مع محتوى كبير ونسبة قليلة من مياه الخلط فان مقاس الركام الكبير يجب ان يتراوح بين ٩ - ١٣ مم كما اثبتت هذه التجارب ان قوة التماسك (BOND) للحبيبات مقاس (٧٦ مم) يساوى ١٠٪ من قوة التماسك للحبيبات (١٣ مم)

ويبين الجدول رقم (١) حجم الركام الكبير المناسب فى الخلطة تبعا للمقاس الاعتبارى الأكبر مع الأخذ فى الاعتبار استخدام ركام صغير له معاير نعومة يتراوح من (٢ر٤ - ٣)

المقاس الاعتبارى الأكبر ١ الركام الكبير		حجم الركام الكبير م٣ معاير النعومة للركام الصغير			
بوصة	سم	٢ر٤	٢ر٦	٢ر٨	٣ر٠٠
٣/٨	٩	٥ر	٤٨ر	٤٦ر	٤٤ر
١/٢	١٣	٥٩ر٠	٥٧ر٠	٥٥ر٠	٥٣ر٠
٣/٤	٢٠	٦٦ر٠	٦٤ر٠	٦٢ر٠	٦٠ر٠
١	٢٥	٧١ر٠	٦٩ر٠	٦٧ر٠	٦٥ر٠
١ ١/٢	٣٨	٧٥ر٠	٧٣ر٠	٧١ر٠	٦٩ر٠
٢	٥٠ر٠	٧٨ر٠	٧٦ر٠	٧٤ر٠	٧٢ر٠
٣	٧٥ر٠	٨٢ر٠	٨٠ر٠	٧٨ر٠	٧٦ر٠
٦	١٥٠	٨٧ر٠	٨٥ر٠	٨٣ر٠	٨١ر٠

جدول رقم (١)

حجم الركام الكبير المناسب لكل من المقاس الاعتبارى الأكبر للركام الكبير ومعاير النعومة للركام الصغير

(جـ) نسبة الماء الى الأسمنت (م/ س)

من المعروف انه بتقليل نسبة م/س فى الخلطة الخرسانية تزيد مقاومة الضغط للخرسانة مع مراعاة العوامل الأخرى مثل التشغيل ونقل وصب الخرسانة .

كما ان تغير فى نسبة (م/س) له تأثير مباشرَ على قوام الخلطة الخرسانية الطازجة (القوام) .

فمثلا عندما يكون الهبوط يتراوح بين (صفر ـ ٥٠مم) فانه يكون مناسب لأعمال الخرسانة سابقة الاجهاد .

اما فى حالة الخرسانة المصبوبة بالموقع فان هبوط الخرسانة الطازجة بين ٦٥ ـ ١١٥ مم يكون مناسبا جدا

اما بالنسبة للخرسانة عالية مقاومة فقد وجد ان النسبة المثلى لنسبة الماء الى الاسمنت تتراوح بين ٢٧ر٠ ـ ٥٠ر٠ بالوزن .

(د) الاضافات : Admix Tures

تحتوى جميع خلطات الخرسانة عالية المقاومة على بعض أنواع الاضافات مع العلم بأن الاختلاف فى نوع الاضافات يؤثر على معدل لدونه وتصلد الخلطة الخرسانية الطازجة ولذلك يجب اختيار نوع ونسبة الاضافات فى الخلطة الخرسانية وعلاقة هذه الاضافات بالمواد الأخرى المكونة للخلطة وذلك للحصول على المقاومة العالية المطلوبة .

الاضافات البوزولانية : وتستخدم هذه الاضافات احيانا كمواد اسمنتية اما فى الخرسانة عالية المقاومة فتستخدم كمادة اضافية للاسمنت البورتلاندى بنسبة تصل الى ١٠٪ بالوزن واضافة هذه المواد الاسمنتية بالخلطة لذا ـ يجب تقليل نسبة الركام الصغير للحصول على المقاومة المطلوبة .

الاضافات المعدنية : مثل الرماد المتطاير (Fly Ash) الذى يستخدم بكثرة فى انتاج الخرسانة عالية المقاومة وينتج من اضافته تقليل نسبة الماء فى الخلطة ويمكن تعويض نقص حجم المياه بزيادة نسبة الرمل .

ثانيا : مميزات الخرسانة عالية المقاومة

- قلة الزحف بالخرسانة عالية المقاومة عن مثيلاها
- تعطى معاير مرونة عالى .
- استعمال هذه الخرسانة فى البلاطات يسمح بازالة مبكرة للشدات دون اعادة تدعيمها .
- استخدام هذه الخرسانة يقلل ابعاد القطاع الخرسانى وكذلك يقلل نسبة حديد التسليح .

وقد اجريت ابحاث لمعرفة اقتصاديات هذه الخرسانة عن طريق مقاومة حمل قدره ٤٥ طن بخرسانات ذات مقاومة مختلفة فأعطت النسب المبينة بجدول رقم (٢)

مقاومة الضغط للخرسانة كجم / م^{٢}	٤١٠	٥٢٠	٦٢٠
التكاليف (٪)	١٠٠	٨٠	٦٠

جدول (٢) يوضح تأثير مقاومة الضغط للخرسانة على التكاليف

وكذلك بينت التجارب انه تحت تأثير حمل معين فأن عمود بمقاس (٧٥×٧٥سم) من خلطة خرسانية بمقاومة ضغط ٤٢٠ كجم / سم^{٢} يحتاج حديد تسليح بنسبة ٤٪ من مساحة مقطعة بينما إنه لنفس العمود وعند إستخدام خلطة خرسانية بمقاومة ضغط ٦٣٠ كجم / سم^{٢} يحتاج حديد تسليح بنسبة ١٪ من مساحة مقطعة .

ثانيا : خرسانة تحمل الحريق Fire Endurance Concrete

يجب التحقيق من مراعاه الاتى عند الحصول على خرسانة تتحمل الحريق

- الركام : يستخدم الركام الخفيف
- الاسمنت : يستخدم الاسمنت الالومينى لأنه أجود الأنواع لتحمل الحريق
- الحديد : الحديد المسحوب على الساخن يعتبر أجود الأنواع لتحمل الحريق
- سمك القطاع الخرسانى : كلما زاد سمك القطاع الخرسانى كلما زاد تحمل الخرسانة للحريق

وفيما يلى شرح لهذه النقاط

- تأثير نوع الركام : -

أهم أنواع الركان الذى يعطى مقاومة عالية للحريق هو الركام الخفيف الوزن (Light - Weight - Aggregate) وينقسم الركام الخفيف الوزن الى ثلاثة أنواع

(أ) ركام طبيعى : مثل الدياتوميت والبوزولانا والحجر الخفاف

(ب) ركام متخلف فى الصناعات : مثل كلنكر الأفران وخبث الأفران العالية المنفوش والرماد المتطاير .

(جـ) ركام صناعى : مثل البرليت والفير موكليت والليكا

وترجع زيادة مقاومة الركام الخفيف للحريق الى ان معامل الموصيلة الحرارية Coefficient of thermal Conductivit ومعامل التمدد الحرارى Coefficient of thermal expansion

أقل من الركام العادى وكذلك لأن الركام الخفيف يكون فى حالة الاتزان نتيجة انه سبق حرقة قبل ذلك لدرجات حرارة أعلى من ١١٠٠م ومن التجارب على عينة خرسانة عادية الوزن وخرسانة خفيفة الوزن فى غرفة تم رفع درجة حرارتها الى ٦٥٠م وجد ان الخرسانة خفيفة الوزن فقدت ١٥٪ من مقاومتها فى حين أن الخرسانة العادية فقدت من ٤٠ ـ ٧٥٪ من مقاومتها ووجد ايضا ان التبريد المفاجىء للخرسانة خفيفة الوزن اثناء الحريق يعطى تهشيما (Damage) أقل من الخرسانة عادية الوزن .

- تأثير نوع الاسمنت وكميته : -

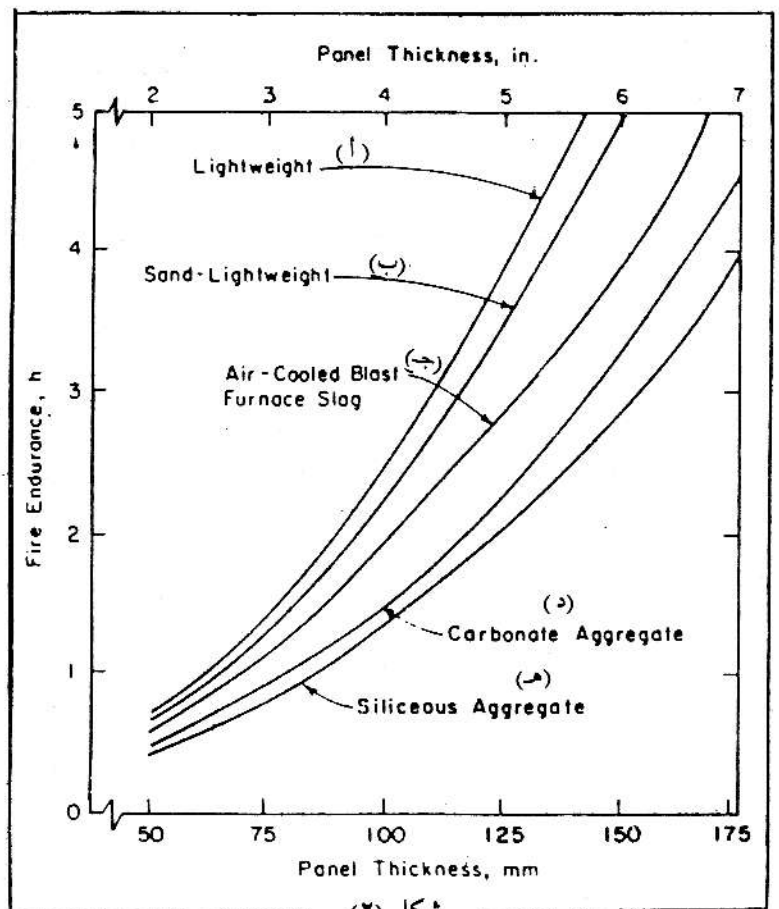
يؤثر الحرارة العالية تأثيرا سيئا فى حالة استخدام الاسمنت البورتلاندى العادى نظرا لوجود الجير الذى يتكلس ويعاود الاتحاد مع الماء مما يسبب زيادة فى حجم الخرسانة وبالتالى تتولد اجهادات داخلية تعمل على تشرخ

الخرسانة وتعتبر اكثر انواع الخرسانة تحملا للحريق تلك المصنوعة من الاسمنت الالومينى وذلك نظرا لعدم احتوائه على مادة الجير كما ان زيادة محتوى الاسمنت بالخرسانة يزيد من تحملها للحريق .

- تأثير سمك القطاع الخرسانى : -

يزداد تحمل الخرسانة للحريق كلما زاد سمك قطاع العضو الخرسانى ويراعى بعض المنشآت الخرسانية ذات السمك الصغير عمل غطاء مناسب فوق حديد التسليح

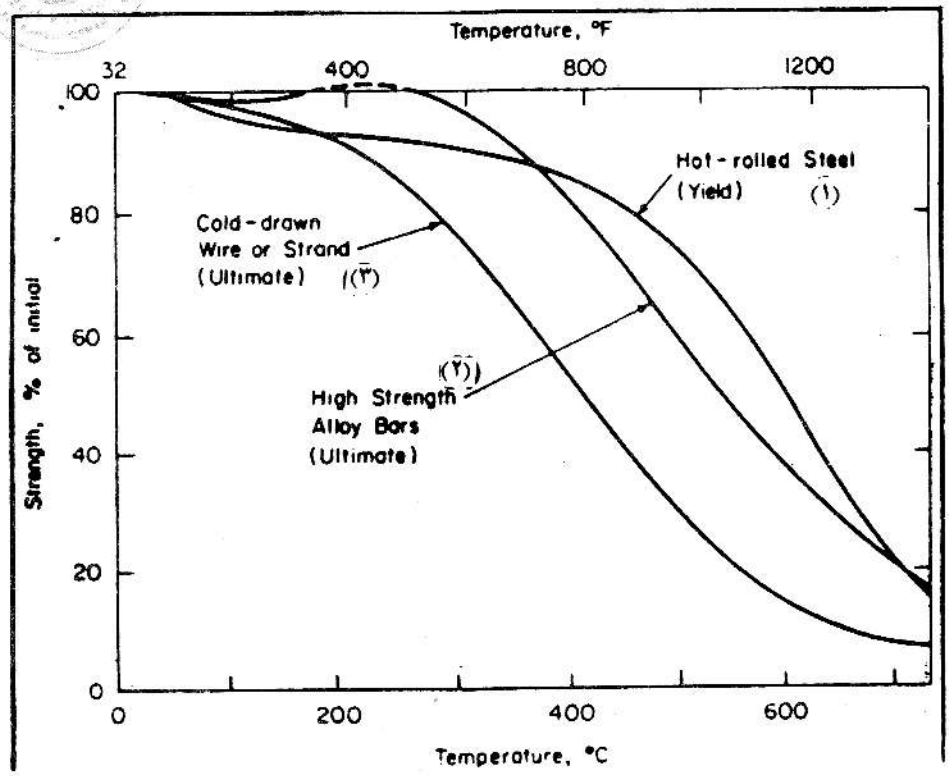
ويبين الأشكال التالية تأثير الحرارة على النقص فى مقاومة الشد لحديد التسليح وكذلك تأثير سمك القطاع الخرسانى على تحمل الخرسانة للحريق شكل رقم (٢) ، شكل رقم (٣)



(أ) خفيفة الوزن
(ب) رمل خفيف الوزن
(جـ) خبث الأفران العالى المبرد بالهواء
(د) ركام كربونى
(هـ) ركام سيليسى

شكل (٢)

تأثير سمك القطاع الخرسانى ونوع الركام على مدى تحمل الخرسانة للحريق



شكل (٣)

مقاومة بعض أنواع الحديد عند درجات حرارة مختلفة

١ ـ حديد على الساخن (إجهاد الخضوع)

٢ ـ أسياخ من صلب عالى المقاومة (الاجهاد الأقصى)

٣ ـ حديد مسحوب على البارد (الاجهاد الأقصى)

ثالثا : خرسانة الاجواء الباردة (Cold Weather Concrete)

يعرف الجو البارد بالفترة التى تقل فيها متوسط درجة حرارة الجو المحيط لمدة ثلاثة ايام متتالية عن ٥م .

وتستمر عملية الاماهة (تفاعل الاسمنت مع الماء) بالرغم من انخفاض درجة حرارة الماء عن درجة التجمد (صفر م) والحد الادنى لدرجة الحرارة والذى عندها تتوقف عملية الاماهة تماما هى (- ٢٠م) .

وتعتبر مقاومة الخرسانة للضغط ٣٥ كجم / سم^{٢} فى اليوم التالى للصب هى الحد الادنى الذى يحقق الامان لمنع حدوث الانهيار بتأثير التجمد والذوبان (Thawing and Freezing)

الاحتياطات الواجب مراعاتها عند صناعة خرسانة الاجواء الباردة : -

١ - استخدام اضافات تعجل من تفاعل الاسمنت مع الماء مثل كلوريد الكالسيوم
٢ - استخدام أنواع من الاسمنت تعطى مقاومة عالية مبكرا .
٣ - يجب ان يكون محتوى الاسمنت عالى وتستعمل نسبة مياه للأسمنت أقل .
٤ - المحافظة على الخرسانة فى درجة حرارة لا تقل عن ١٠ م$^{\circ}$.
٥ - عدم فك الشدات قبل التأكد من وصول الخرسانة لمقاومة الضغط المناسبة .
٦ - عند حدوث انخفاض كبير فى درجة حرارة الجو المحيط يتم تسخين مكونات الخرسانة للوصول الى درجة حرارة مناسبة للخرسانة (لاتقل عن ١٠م$^{\circ}$) وذلك عن طريق تسخين ماء الخلط فقط وذلك اذا كان الركام خاليا من الثلج

أما اذا انخفضت درجة حرارة الجو المحيط عن (صفر م$^{\circ}$) فان ذلك سوف يستدعى تسخين الزلط ايضا .

رابعا : الخرسانة الليفية : Fibrous Concrete

تتكون خلطة الخرسانة التقليدية من الأسمنت والرمل والزلط والماء واحيانا تضاف بعض الاضافات الكيميائية وينتج عن هذه المكونات مادة صلبة تتحمل اجهادات الضغط بدرجة جيدة ولكنها لا تتحمل اجهادات الشد الا بنسبة صغيرة جدا ولذلك يتم تسليح هذه الخرسانة بحديد التسليح فى الأماكن المعرضة لاجهادات الشد وهو ما يعرف بالخرسانة المسلحة .

وبالرغم من التقدم الهائل فى مجال الخرسانة المسلحة فانه حتى الان لم يتم انتاج خرسانة تتحمل اجهادات الضغط والشد فى جميع القطاعات وفى مختلف الاتجاهات بنفس الدرجة .

ولذلك بدأت ابحاث استعمال الخرسانة المسلحة بألياف الصلب (الخرسانة الليفية)

* مميزات استعمال خرسانة مسلحة بألياف الصلب (الخرسانة الليفية)

١ ـ الحصول على قطاع خرسانى متجانس فى جميع الاتجاهات اى يتحمل الاجهادات المختلفة بنفس الكفاءة فى جميع الاتجاهات .
٢ ـ تقليل حدوث الشروخ الناتجة عن تأثير الاحمال الزائدة .
٣ ـ زيادة المقاومة المبكرة للخرسانة .
٤ ـ زيادة مقاومة الاحتكاك وزيادة العمر الافتراضى .
٥ ـ زيادة مقاومة الضغط بنسبة تصل الى ٢٠٪ .
٦ ـ زيادة مقاومة الشد بنسبة تصل الى ٣٠٪ .
٧ ـ زيادة المقاومة للصدمات بنسبة عالية جدا .
٨ ـ زيادة مقاومة الانحناء بنسبة تصل الى ١٠٠٪ .

* استخدام الخرسانة المسلحة بألياف الصلب : ـ

١ ـ الطرق الخرسانية وممرات الطائرات .
٢ ـ الأرضيات الخرسانية للمصانع والمخازن التى تتعرض لاحمال ديناميكية ولمرور معدات ثقيلة .
٣ ـ حماية المنشآت المعدنية وذلك بعمل قمصان من الخرسانة المسلحة بالألياف .
٤ ـ المنشآت الحربية المعرضة للانفجارات .
٥ ـ أعمال ترميم العناصر الخرسانية المختلفة .
٦ ـ انتاج المواسير الخرسانية الجاهزة .
٧ ـ أعمال الحوائط المقاومة للزلازل .
٨ ـ أعمال صب الخوازيق .

* الخواص الواجب توافرها فى ألياف الصلب المستخدم فى انتاج الخرسانة الليفية : ـ

يجب توافر الخواص التالية فى ألياف الصلب لانتاج خرسانة ليفية ذات جودة عالية تتناسب مع متطلبات الانشاء .

١ ـ يجب ان يكون اسطح الألياف نظيفا وبمساحة كافية لضمان التماسك التام بين الخرسانة والألياف .

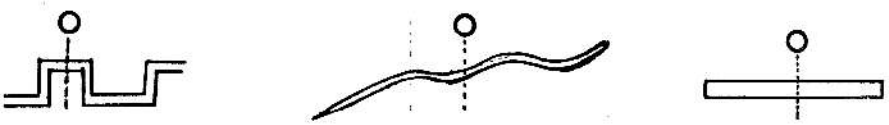
٢ ـ يجب ان تكون الألياف غير قابلة للصدأ .

٣ ـ يجب ان تكون النسبة بين طول الألياف الى القطر لا يزيد عن ٧٠

٤ ـ يجب ان تكون الألياف ذات مقاومة عالية للشد .

أنواع ألياف الصلب المستعملة فى خرسانة الألياف : ـ

١ ـ ألياف مصنعة من السلك الصلب وهذه الألياف تصنع بواسطة تقطيع اسلاك الصلب المستديرة المقطع ولزيادة التماسك بين هذا النوع من الألياف والخرسانة تشكل الألياف فى القطاع الطولى بعده أشكال كما يلى : ـ



وتنتج هذه الألياف من الحديد الصلب أو الحديد المطاوع وتبلغ مقاومة الشد لهذا النوع من الألياف ٨٠٠ ـ ١٠٠٠ نيوتن/م^{٢} (٨٠٠٠ ـ ١٠٠٠٠ كجم/سم^{٢}) .

٢ ـ ألياف مصنعة بطريقة القص : وهى ألياف تنتج بأشكال مختلفة بطريقة القص ويبلغ مقاومة الشد لهذه الألياف بين ٥٠٠ ـ ١٠٠٠ نيوتن/مم^{٢} (٥٠٠٠ ـ ١٠٠٠٠ كجم / سم^{٢}) وأشكالها كالاتى : ـ

٣ ـ ألياف الصلب المصهور : تنتج هذه الألياف من الحديد المصهور بطريقة القوة الطاردة المركزية على شكل نصف هلال

العيوب الرئيسية للألياف السابقة : ـ

(أ) وجود اثار الشحوم والزيوت المتبقية من عملية التصنيع مما يقلل تماسكها مع الخرسانة .

(ب) ضرورة استخدام معدات خاصة لخلط الخرسانة المستعمل فيها هذه الألياف .

٤ ـ ألياف الهاركس : تصنع هذه الألياف بطريقة خاصة تضمن خاصية عدم صدأ الألياف بدون دهان سطحها بمواد كيميائية وكذلك امكانية خلطها مع الخرسانة بمعدات الخلط العادية وتبلغ مقاومة الشد لهذه الألياف ٧٠٠ نيوتن / مم ^{٢} (٧٠٠٠ كجم / سم^{٢}) وهى تنتج بأطوال مختلفة وقطاعها على هيئة مثلث ذى ضلعين بسطح خشن والضلع الثالث بسطح ناعم كما فى الشكل .

* انتاج خرسانة ليفية عالية الجودة : ـ

(أ) يجب العناية عند اختيار مكونات الخرسانة بحيث تكون من العناصر الجيدة مثل : ـ

- رمل سليسى نظيف خالى من الشوائب
- زلط متدرج خالى من المواد الناعمة
- اسمنت مطابق للمواصفات
- مياه صالحة للاستخدام فى الخرسانة

(ب) استخدام محتوى اسمنت كبير لا تقل عن ٣٥٠ كجم / م^{٣}

٣ ـ يفضل استعمال الاضافات فى الخلطة الخرسانية للحصول على خرسانة ليفية متجانسة حيث يسبب استعمال الألياف زيادة كمية ماء الخلط للحصول على القوام المطلوب ولتقليل استعمال ماء الخلط فانه يضاف الى الخلطة الخرسانية مادة مليئة فائقة السيولة مثل الاديكريت بى : فى : اف (B V F) والاديكريت بى : فى : اس (B V S) بنسبة تتراوح بين ٢٪ ـ ٤٪ من وزن الأسمنت المستعمل

٤ ـ يفضل استخدام هزاز الى فى دمك خرسانة الألياف

٥ ـ يجب الاهتمام بمعالجة اسطح الخرسانة الليفية بطريقة مناسبة .

ما تم اصداره فى سلسلة دليل المهندس

١ ـ الأسمنت	نوفمبر عام ١٩٨٧م
٢ ـ الركام	ديسمبر عام ١٩٨٧م
٣ ـ حديد التسليح	مارس عام ١٩٨٨م
٤ ـ ماء الخلط	سبتمبر عام ١٩٨٨م
٥ ـ تصميم الخلطة الخرسانية	مارس عام ١٩٨٩م
٦ ـ الخرسانة الطازجة	أكتوبر عام ١٩٨٩م
٧ ـ اضافات الخرسانة	ابريل عام ١٩٩٠م