سبحان من علم الإنسان ما لم يعلم

متانة الخرسانة

المتانة هى تحمل الخرسانة للظروف التى صُممت من أجلها وتعمل فى محيطها فترة طويلة من الزمن (العمر الإفتراضى) دون حدوث تلف أو تفتت بها.

أسباب تلف الخرسانة

أ- أسباب داخلية

١- الأسمنت
٢- الركام
٣- ماء الخلط
٤- حديد التسليح
٥- الإضافات المعدنية والكيميائية

متانة الخرسانة

ب- أسباب خارجية وهى الناتجة من الوسط المحيط بالخرسانة

١ـ مهاجمة الكيماويات مثل الكبريتات والكلوريدات للخرسانة
٢ـ ماء البحر
٣ـ ماء المجارى
٤ـ المخلفات الصناعية

ج- أسباب أخرى تؤثر على معدل تلف الخرسانة

١ـ حركة المياه الجوفية
٢ـ درجة حرارة المياه الجوفية
٣ـ تذبذب منسوب المياه الجوفية (دورات بلل وجفاف)
٤ـ البخر خلال سطح الخرسانة
٥ـ التأكسد والكربنة
٦ـ أسباب بيولوجية

متانة الخرسانة

مقاومة الخرسانة للتلف

١ـ المقاومة للنفاذية والإمتصاص.
٢ـ المقاومة لصدأ الحديد.
٣ـ المقاومة لتأثير الكيماويات.
٤ـ المقاومة لماء البحر.
٥ـ المقاومة للعوامل الجوية.
٦ـ المقاومة للحريق.
٧ـ المقاومة لماء المجارى.
٨ـ المقاومة للتآكل.

متانة الخرسانة

المسامية و النفاذية و الإمتصاص

فالإمتصاص هو قدرة الخرسانة على سحب الماء داخل فجواتها

النفاذية فهى الخاصية التى بواسطتها يمكن تسرب أى سائل خلال الخرسانة.

بينما نجد أن المسامية هى وجود مسام أو فجوات داخل المادة الصلبة وقد تكون هذه المسام متصلة عن طريق أنابيب دقيقة أو مسارات شعرية أو قد تكون هذه المسام منفصلة عن بعضها.

متانة الخرسانة

أنــواع المســام الداخليــة

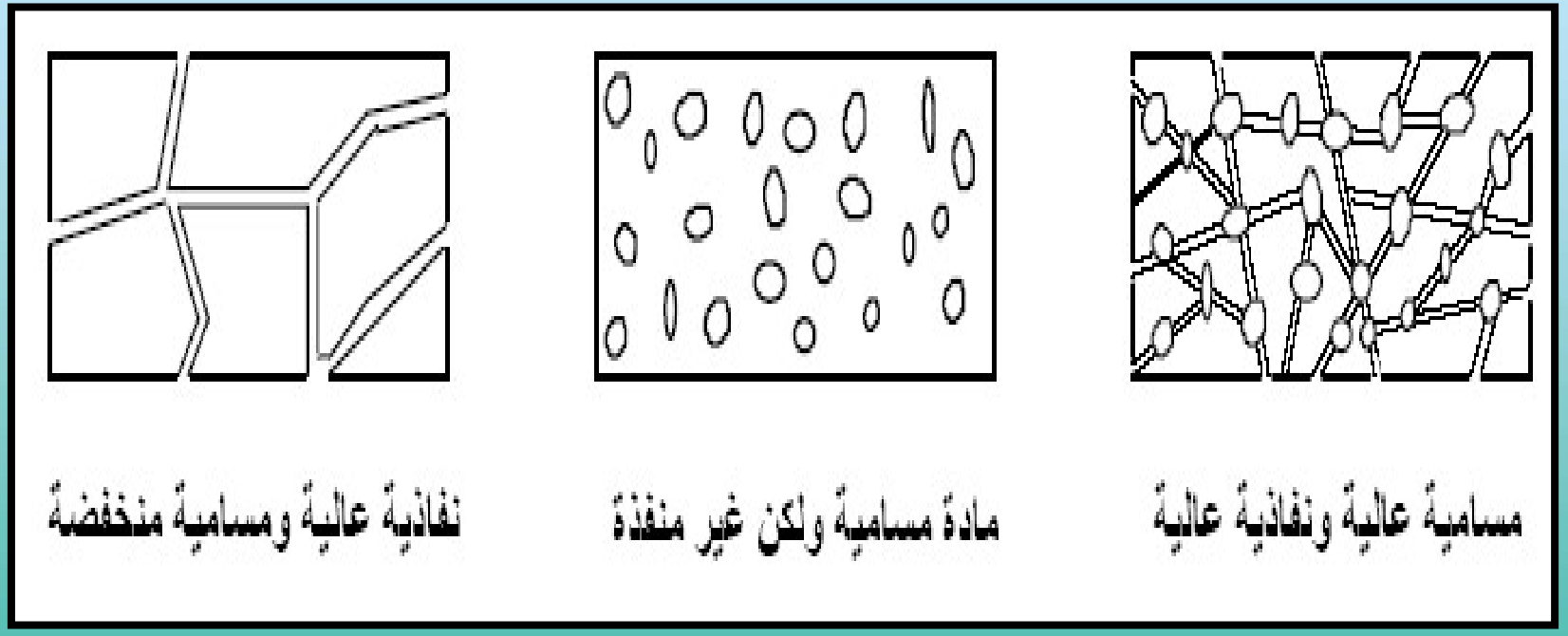
يوجد ثلاثة أنواع من المسام يمكن تمييزها كما يلى:

أ - المسام الهوائية ومنها الصغير جداً وهو عادة ما يتم تكوينه صناعياً داخل الخرسانة عن طريق إضافات الهواء المحبوس لزيادة القابلية للتشغيل وتحسين المقاومة للصقيع ومنها المسام الهوائية الكبيرة غير المنتظمة وهى تنشأ عادة عن عيوب الصب والدمك للخلطة الخرسانية والمسام الهوائية يتراوح قطرها من ٠,٠١ إلى ٠,٢ مم.

ب - المسام الجيلاتينية Gel Pores وهى أدق وأصغر أنواع المسام على الإطلاق حيث يبلغ قطرها من ٠,٥×١٠-٦ مم إلى ١٠×١٠-٦ مم وتتكون بعد عملية الإماهة حيث تتصلد العجينة الأسمنتية مكونة جسماً صلباً متجانساً. هذا الجسم الصلب به نسبة عالية من الفراغات الداخلية (مسام جيلاتينية).

ج - المسام الشعرية Capillary Pores بعد خلط الأسمنت مع الماء مباشرة يحدث تكتل لحبيبات الأسمنت والماء ويسمى الماء الموجود فى الفراغات داخل هذا التكتل بالماء الشعرى Capillary Water حتى يحدث له تفاعل كامل مع الأسمنت ويترك مكانه خالياً مكوناً المسام الشعرية التى تعتبر أكثر أنواع المسام والتى تحدد درجة المسامية الكلية للخرسانة. والمسام الشعرية ذات قطر يتراوح من ١٠×١٠-٦ مم إلى ١٠×١٠-٣ مم (أى أنها وسط بين المسام الجيلاتينية والمسام الهوائية).

متانة الخرسانة



متانة الخرسانة

تأثير المنفذية على الخرسانة

١- إن سريان الماء والهواء داخل الخرسانة يؤدى إلى صدأ حديد التسليح وتآكله.

٢- فى الأجواء الباردة يتجمد الماء داخل الفراغات مسبباً تمدد ينشأ عنه إجهادات تؤثر على متانة الخرسانة.

٣- قد يحمل الماء بعض الأملاح معه داخل جسم الخرسانة فتتفاعل كيميائياً أو تتحول إلى بلورات مما يسبب إجهادات داخلية تضعف الخرسانة.

٤- قد يحمل الماء عند خروجه من الخرسانة بعض الأملاح أو المركبات المكونة للخرسانة مما يسبب زيادة الفراغات. كما أن هذا الماء يتبخر تاركاً الأملاح على السطح الخارجى للخرسانة مما يضر بشكل المنشأ.

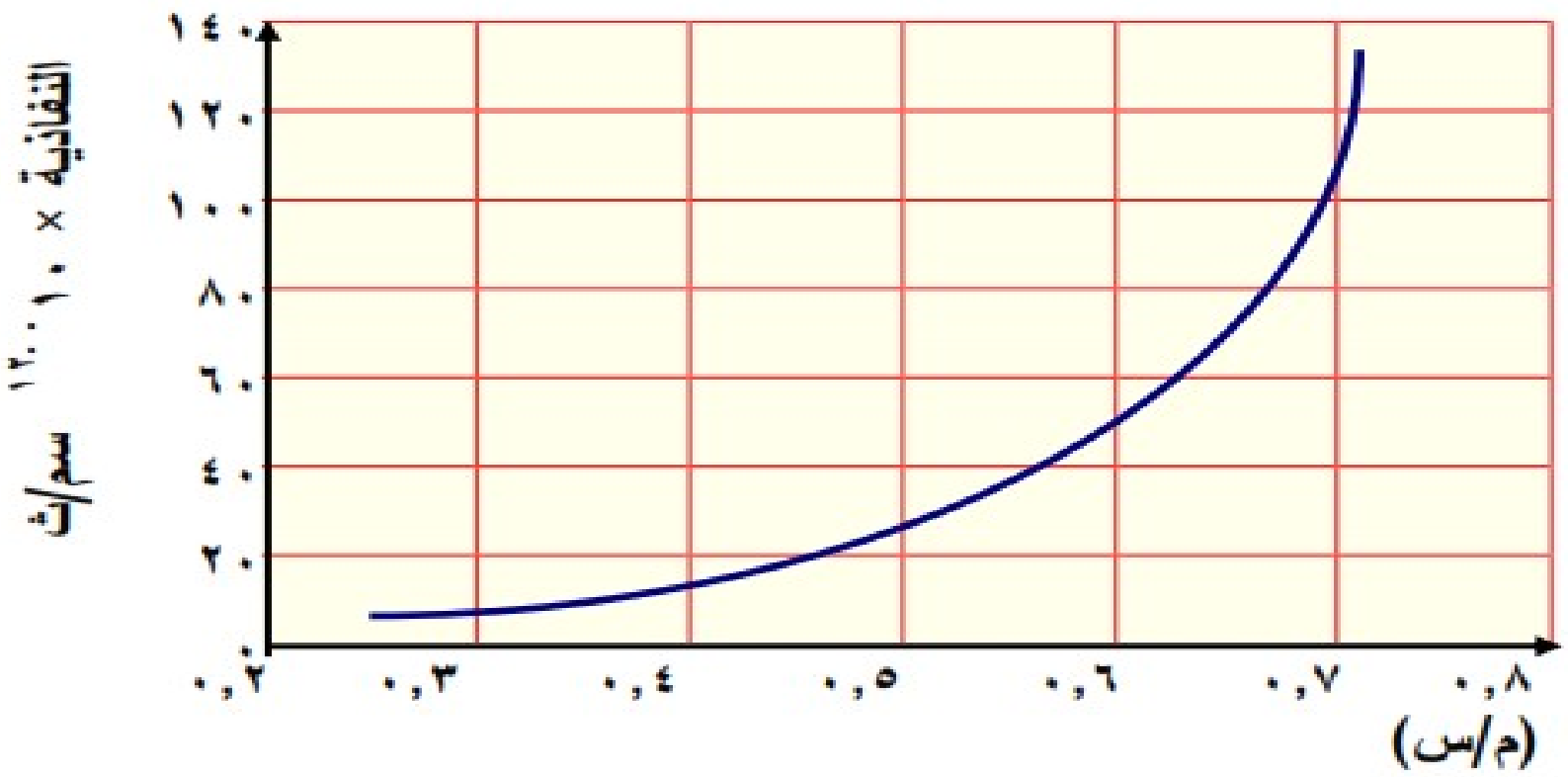
متانة الخرسانة

العوامل المؤثرة على المنفذية والمسامية

١- نسبة الماء إلى الأسمنت (م/س) - حيث تزداد المنفذية بزيادة نسبة م/س (شكل ١١-٢) فزيادة كمية الماء تؤدى إلى وجود فراغات بالخرسانة عند جفافها. كذلك فى حالة زيادة الماء فإن القوام يصير مبتلاً مما يسمح بهبوط حبيبات الركام الثقيلة إلى أسفل ثم يخرج الماء إلى السطح خلال ممرات شعرية تظل موجودة بعد جفاف الخرسانة.

٢- الركام - يجب أن يكون الركام من النوع المصمت السليم غير المسامى كما يجب أن يكون متدرجا ويجب أن يكون من النوع الذى لا يتفاعل قلوياً مع الأسمنت حتى تتلافى وجود الفراغات الناتجة من هذا التفاعل.

متانة الخرسانة



شكل (١١–٢) تأثير نسبة (م/س) على النفاذية.

العوامل المؤثرة على المنفذية والمسامية

٣- الإضافات - يمكن تحسين مقاومة نفاذ الماء من الخرسانة بإستخدام الإضافات للأغراض الآتية:

أ - لتقليل نسبة م/س بحيث تقل كمية الماء فى الخلطة.

ب- لتكوين طبقة سدودة تقوم بسد المسام فى الخرسانة.

ج- لتعديل تكون بللورات هيدرات سيليكات الكالسيوم CSH أثناء عملية الإماهة وبالتالى تعديل التكوين الداخلى للمسام الجيلاتينية.

العوامل المؤثرة على المنفذية والمسامية

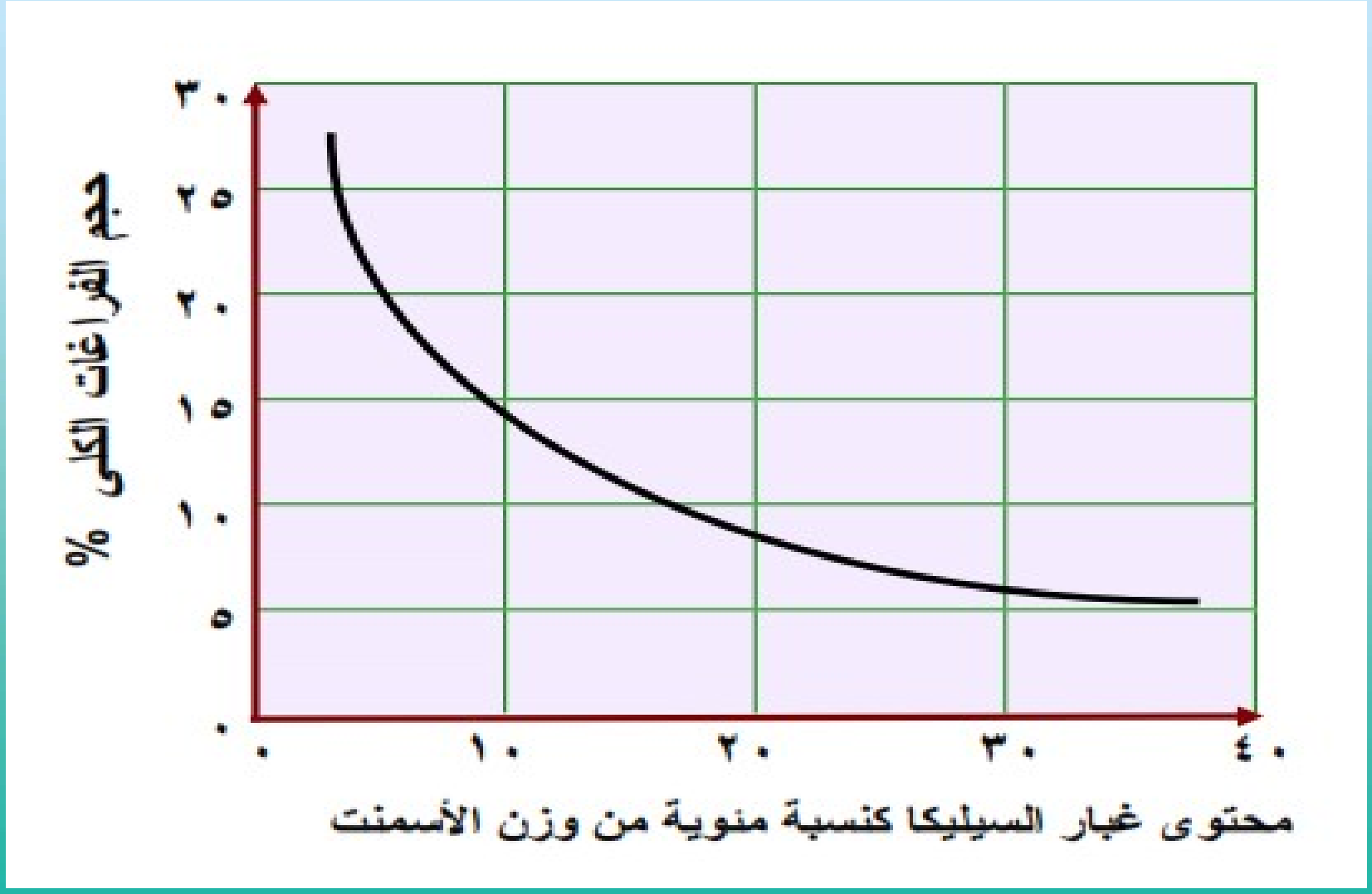
٤ـ الخلط والدمك ـ إنتظام ودقة عمليتى الخلط والدمك تحسن من منفذية الخرسانة للماء.

٥ـ معالجة الخرسانة ـ إن المعالجة السيئة للخرسانة تؤدى إلى زيادة البخر وبالتالى زيادة المسام الشعرية والهوائية التى يتبخر منها الماء كما قد تؤدى إلى حدوث شروخ الإنكماش اللدن التى تزيد المسامية والنفاذية.

العوامل المؤثرة على المنفذية والمسامية

٦- إستعمال مواد بوزولانية Pozzolanic Materials - وهى المواد التى تتفاعل مع هيدروكسيد الكالسيوم الحر الناتج عن تفاعل الأسمنت مع الماء مكونة مركبات غير قابلة للذوبان مثل سيليكات وألومنيات الكالسيوم والتى تعمل على سد الفجوات الداخلية والمسام الشعرية. ومن أمثلة المواد البوزولانية مادة غبار السليكا Silica Fume وهى تتكون من حبيبات دقيقة جداً مساحتها السطحية حوالى أربعة أمثال المساحة السطحية للأسمنت (٢٠,٠٠٠ سم٢/جم) وهى ناتج ثانوى Byproduet فى صناعة سبائك السيليكون والفيروسيليكون وتتفاعل مادة غبار السليكا مع هيدروكسيد الكالسيوم مكونة سيليكات الكالسيوم المماهة والتى لا تذوب

العوامل المؤثرة على المنفذية والمسامية



العوامل المؤثرة على المنفذية والمسامية

٧- حرارة الإماهة - قد تؤدى الحرارة المصاحبة لعملية الإماهة إلى حدوث شروخ ميكروسكوبية في عجينة الأسنت مما يؤدى إلى اتصال الفجوات الداخلية وزيادة النفاذية.

متانة الخرسانة

الإحتياطات والتوصيات لإنتاج خرسانة غير منفذة

١-يجب أن لا تكون الخلطة فقيرة الأسمنت.

٢-يجب أن تكون الخلطة لدنة بالدرجة الكافية لملء الشدة والفرم.

٣-إستعمال نسبة قليلة من م/س بقدر الإمكان وتعويض النقص فى القابلية للتشغيل بإستخدام إضافات مناسبة مثل Superplasticizer

٤-يجب أن يكون الركام جيد التدرج حتى نحصل على أقل نسبة فراغات ممكنة.

٥-إستخدام مواد بوزولانية إذا أمكن ذلك.

٦-يجب العناية بعمليتى الصب والدمك لتجنب تكون جيوب هوائية ولإخراج فقاعات الهواء مع مراعاة عدم حدوث إنفصال حبيبى.

٧-إستعمال مواد سدودة للماء بعد صب الخرسانة وفك الفرم.

متانة الخرسانة

طرق حماية الأسطح الخرسانية لجعلها غير منفذة

تنقسم هذه الطرق إلى قسمين رئيسين :

أ- إضافة مادة مانعة لنفاذ الماء إلى مكونات الخرسانة أثناء إعداد الخلطة وقد تكون هذه المادة مسحوقا ناعما يقوم بملء الفراغات الموجودة فى الخرسانة أو مادة تعمل على سرعة تكوين الجيلاتين لتتصلب الخرسانة سريعاً أو مركباً طارداً للماء للعمل على عدم سريان الماء بواسطة الخاصة الشعرية.

ب- المعاملة السطحية للخرسانة والتى يمكن أن تأخذ إحدى الصور الآتية:

متانة الخرسانة

١ ـ تشريب السطح بمواد طاردة للماء وملء الفجوات بطبقات حماية سطحية.

٢ـ عمل طبقات حماية سطحية مثل:

ـ البياض بمواد ذات سمك ٥,٠ مم إلى ٥ مم.

ـ التغطية بالمواد المطاطة.

ـ الأغشية البوليمرية الجاهزة تثبت بالخرسانة.

ـ إستخدام ألواح من الصلب الذى لا يصدأ أو ألواح من البلاستيك.

ـ التبليط ببلاطات مقاومة للمواد الضارة بالخرسانة مثل السيراميك أو القيشانى.

متانة الخرسانة

صدأ الحديد Steel Corrosion

الحماية التى توفرها الخرسانة للأسياخ ضد الصدأ ذات شقين:

أ- تكون طبقة حماية سلبية (Passive Protection Layer) على سطح الأسياخ

وترجع هذه الحماية إلى أن الخرسانة المحيطة بالأسياخ قاعدية ذات أس هيدروجينى (pH) يتراوح من ١٢ إلى ١٤ وعند هذه القيمة للأس الهيدروجينى فإن التفاعلات الكيميائية التى تحدث على سطح أسياخ التسليح تؤدى إلى ظروف تصبح فيها التفاعلات الكهروكيميائية المؤدية إلى الصدأ غير ممكنة - كما تؤدى هذه التفاعلات إلى تكوين طبقة رقيقة جداً من نواتج الصدأ - مثل أكسيد الحديد Fe_2O_3 - فتلتصق بسطح السيخ وتمنع حدوث صدأ الحديد - وبذلك تصبح قاعدية الخرسانة المحيطة بأسياخ التسليح هى سبب حماية هذه الأسياخ ، وعملياً فإن هذه الحماية فعالة لمدة طويلة إلا إذا فقدت هذه القاعدية نتيجة أملاح أو أحماض تتغلغل فى الخرسانة أو نتيجة للتحول الكربونى للخرسانة السطحية.

ب- عمل حاجز يمنع وصول الرطوبة والأملاح فى الجو المحيط إلى الأسياخ وهذا الحاجز هو الغطاء الخرسانى للأسياخ Cover.

متانة الخرسانة

أسباب حدوث صدأ الحديد

١- التحول الكربونى للخرسانة فى الغطاء الخرسانى Carbonation.

٢- أبخرة أو محاليل حامضية يتعرض لها العضو.

٣- تغلغل الكلوريدات فى الخرسانة من المياه المحيطة أو وجودها فى الخلطة الخرسانية أصلاً.

٤- وجود شروخ سطحية -لأسباب أخرى غير الصدأ- بعمق يصل إلى أسياخ الحديد وخاصة إذا كانت الشروخ موازية لصلب التسليح.

متانة الخرسانة

أولاً: التحول الكربونى للخرسانة Carbonation

تفقد خرسانة الغطاء الخارجى قاعديتها نتيجة عملية تسمى التحول الكربونى للخرسانة وهى تفاعل ثانى أكسيد الكربون الموجود بالجو مع المواد القاعدية الموجودة بالخرسانة ـ هيدروكسيد الكالسيوم ـ محولاً إياها إلى كربونات فى وجود الرطوبة :

$$Ca(OH)_2 + CO_2 \xrightarrow{\text{water}} CaCO_3 + H_2O$$

متانة الخرسانة

وكنتيجة لذلك تقل قاعدية الخرسانة إلى أقل من المستوى المطلوب لتوفير الحماية السلبية للأسياخ (أقل من ١٠). ونظراً لأن التحول الكربونى ينتج عن التفاعل مع ثانى أكسيد الكربون الموجود بالهواء فهو يبدأ من السطح ويمتد إلى الداخل. والخرسانة الجيدة غير المنفذة للماء لا يحدث لها تحول كربونى إلا فى حدود طبقة سطحية جداً (عدة ملليمترات) حتى عندما يصبح المبنى قديماً ولكن الخرسانة الرديئة المنفذة للماء يحدث لها تحول كربوني بعمق يصل إلى عشرة أضعاف عمق التحول فى الخرسانة الجيدة.

متانة الخرسانة

وتحدث عملية متشابهة للتحول الكربوني في وجود ثاني أكسيد الكبريت في الجو المحيط بالأعضاء الخرسانية وتسمى عملية التحول الكبريتي ، وتسبب أيضا نقص قاعدية الخرسانة المحيطة بأسياخ التسليح ، وإذا حدث تحول كربوني وكبريتي معاً فإن ذلك سيؤدي إلى زيادة وإن كانت بسيطة في سرعة فقد الخرسانة لقاعديتها. ولهذا يوصي بزيادة الغطاء الخرساني لصلب التسليح في الأجواء الملوثة بالكبريتات.

متانة الخرسانة

ثانياً: الخرسانة أو محاليل حامضية يتعرض لها العضو

يفقد حديد التسلح الحماية القاعدية للخرسانة نتيجة تغلغل الأبخرة الحامضية الموجودة بالهواء - غالباً ثانى أكسيد الكربون وفى المناطق الصناعية ثانى أكسيد الكبريت- داخل الخرسانة ويعتمد هذا التغلغل على نفاذية الخرسانة Permeability بدرجة كبيرة. والخرسانة الرديئة غالباً ما تكون منفذة أما الخرسانة الجيدة فهى غير منفذة. كما يعتمد هذا التغلغل على سمك الغطاء

متانة الخرسانة

ثالثاً: الكلوريدات Chlorides

تعتبر أيونات الكلوريدات Chloride Ions من أكثر المواد التي تدمر الحماية السلبية لصلب التسليح داخل الخرسانة. وهذه الكلوريدات من الممكن أن تكون موجودة في الخرسانة من لحظة خلطها (مصادرها الركام أو ماء الخلط أو الإضافات المحتوية على كلوريد الكالسيوم) أو تصل إلى الخرسانة بعد إستعمال المنشأ (مصادرها مياه البحر أو المياه الجوفية). ووجود الكلوريدات -أيا كان مصدرها- في الخرسانة يؤدي إلى تنشيط عملية الصدأ ولو كانت قاعدية الخرسانة ما زالت مرتفعة.

متانة الخرسانة

وصدأ الحديد نتيجة وجود كلوريدات داخل خلطة الخرسانة أخطر وأصعب في إصلاحه من الصدأ نتيجة التحول الكربوني لأنه بينما يمكن منع حدوث مزيد من التدهور في الأعضاء التي تحولت خرسانتها السطحية كربونيا فلا توجد وسيلة فعالة لمنع التدهور في حالة وجود تركيز عال من الكلوريدات داخل خلطة الخرسانة إلا إزالة الخرسانة المعيبة تماما من حول أسياخ التسليح.

متانة الخرسانة

وتقوم أيونات الكلوريدات الحرة - الموجودة في الماء داخل فراغات الخرسانة - بمهاجمة صلب التسليح وتسبب له الصدأ. وميكانيكية التفاعلات الكيميائية في هذه الحالة معقدة إلى حد كبير ولكن يمكن القول ببساطة أن أيونات الكلوريدات قادرة على تعطيل التفاعلات الحادثة على سطح حديد التسليح والتي توفر له الحماية السلبية حتى وإن كانت قاعدية الخرسانة مازالت عالية ولم يحدث لها تحول كربوني أما في حالة حدوث تحول كربوني فإن قيماً أقل من الكلوريدات ستدمر الحماية السلبية للحديد وسيصبح معدل الصدأ أسرع.

متانة الخرسانة

رابعاً: وجود شروخ بالخرسانة

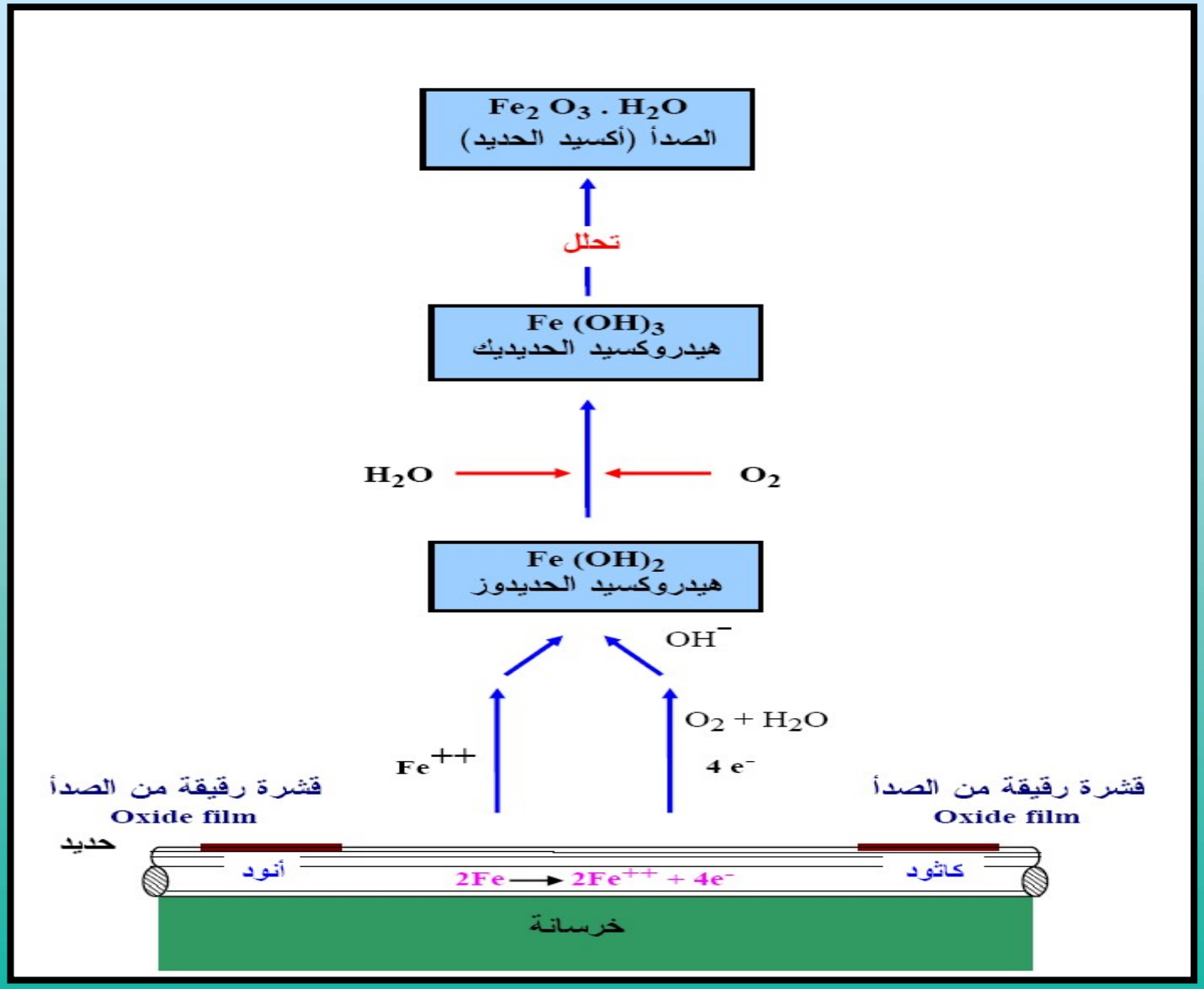
تعتبر الشروخ منفذاً سهلاً للأكسجين والرطوبة والكلوريدات ولذا فإن الشروخ السطحية الموازية للأسياخ يمكن أن تسهل عملية الصدأ والتى ستؤدى بدورها إلى حدوث شروخ جديدة. وقد يكون سبب هذه الشروخ الإنكماش اللدن أو الهبوط اللدن وهى شروخ تحدث على أسطح البلاطات. وفى الحالات التى تكون فيها هذه الأسطح معرضة للأملاح تصبح هذه الشروخ مخزناً للتلوث قريباً من الحديد العلوى. والأخطر من ذلك الفجوات التى تحدث تحت أسياخ التسليح عندما يحدث إدماء للخرسانة ويحدث لها هبوط لدن. هذه الفجوات يصعب جداً العثور عليها كلها وتشكل مصدراً دائماً للرطوبة وسبباً قوياً للصدأ لأن حماية أسياخ التسليح تعتمد على تغطية الخرسانة لسطح السيخ

متانة الخرسانة

ميكانيكية حدوث الصدأ

صدأ الحديد هو عملية كهروكيميائية تحدث عند السطح الفاصل بين صلب التسليح والخرسانة وتحتاج إلى عامل مؤكسد (الأكسجين) ورطوبة وتيار من الإلكترونات يسرى من قطب موجب إلى قطب سالب فى المعدن ويجب توفر الوسط الذى ينقل التيار الكهربى من القطب الموجب إلى السالب وهو عادة ماء أو محلول مائى به أملاح ذائبة. وتحدث فى هذه العملية مجموعة من

متانة الخرسانة



المقاومة لتأثير الكيماويات

املاح الكبريتات

تشتمل أملاح الكبريتات الموجودة فى التربة والمياه الجوفية والتى قد تسبب أضراراً للخرسانة على كبريتات الكالسيوم وكبريتات الصوديوم وكبريتات المغنسيوم وكبريتات البوتاسيوم وهذه الكبريتات بإستثناء كبريتات الكالسيوم تتفاعل مع هيدروكسيد الكالسيوم $Ca(OH)_2$ (الجير الحر) الموجود داخل الخرسانة المتصلبة وينتج من هذا التفاعل كبريتات الكالسيوم (الجبس) وفقاً للمعادلة التالية:

$$Ca\,SO_4 . 2H_2O + 2\,Na\,OH . 8H_2O \rightarrow Ca\,(OH)_2 + Na_2\,SO_4 . 1OH_2O$$

المقاومة لتأثير الكيماويات

املاح الكبريتات

فكبريتات الكالسيوم المتكونة تتفاعل بدورها مع ألومينات الكالسيوم لتشكل ألومينات الكالسيوم الكبريتية المائية أى Calcium Sulphoaluminate ويشار إليها عادة بإسم الإترنجايت Etringite:

$$4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 19H_2O + 3(CaSO_4 \cdot 2H_2O) + 16H_2O \rightarrow$$

$$3\,CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 3CaSO_4 \cdot 32H_2O \text{ (الإترنجايت)} + Ca(OH)_2$$

وتسبب بلورات الإترنجايت ضغطاً داخلياً يؤدى الى تشرخ الخرسانة وتلفها. ويتم وقاية الخرسانة فى التربة الغنية بالكبريتات وذلك بعمل طبقة من الأسفلت أو دهانها بالبيتومين أو غيرها من الطبقات العازلة على أن تكون ملتصقة تماما بسطح الخرسانة حتى لا تنفصل عنها

المقاومة لتأثير الكيماويات

الاحماض

إذا تواجد ثانى أكسيد الكربون أو ثانى أكسيد الكبريت فى ظروف جوية رطبة أو أية أبخرة حامضية أخرى فإنها تهاجم الخرسانة فتذيب وتزيل جزءاً من الأسمنت وتكون طبقة لينة (Soft) تسهل إزالتها من سطح الخرسانة. ويحدث مثل هذا التأثير فى المداخن وفى الخرسانة الموجودة فى الأجواء الصناعية مثل مسابك الحديد ووحدات إنتاج الغاز. وعموماً فإن الأحماض غير العضوية تؤثر تأثيراً شديداً ـ أكثر من غيرها ـ على الخرسانة حيث تتفاعل مع الجير الحر مكونة كلوريدات وكبريتات ونترات. وتتوقف شدة التأثير على مدى ذوبان تلك المركبات فى الماء وعلى تركيز تلك الأحماض وعلى سرعة التفاعل التى تزداد إذا كانت الأحماض ساخنة.

المقاومة لتأثير الكيماويات

الكلوريدات

تتحد معظم أملاح الكلوريدات مع الجير الحر الموجود فى الأسمنت البورتلاندى لتكون كلوريد الكالسيوم القابل للذوبان وبالتالى يتسرب إلى خارج الخرسانة مكوناً مترسبات بيضاء على السطح مع حدوث فراغات بالخرسانة. وتكون كلوريد الكالسيوم بدرجة تركيز عالية يؤدى إلى التلف الشديد لسطح الخرسانة.

المقاومة لتأثير الكيماويات

الزيوت الدسمة

تحتوى الزيوت الدسمة الحيوانية والنباتية على أحماض تهاجم الخرسانة فتتفاعل مع أملاح الكالسيوم والجير الحر بالأسمنت البورتلاندى لتكون سليكات الكالسيوم فتجعل الخرسانة لينة وتزداد قيمة ذلك التأثير إذا كانت الزيوت دافئة أو إذا أمكنها التغلغل داخل الخرسانة.

المقاومة لتأثير الكيماويات

الرصاص

إذا وجدت الرطوبة فإن الجيرالحر بالأسمنت البورتلاندى يتفاعل مع الرصاص فيحدث التلف الخرسانى وكذلك يحدث تلف أكبر للرصاص. وتحدث هذه الحالة للمواسير الموجودة داخل الخرسانة حيث تتلف تلك المواسير تلفاً كاملاً لتكون أكاسيد الرصاص نتيجة للتفاعل السالف الذكر. لذلك يجب المحافظة على مواضع الرصاص داخل الخرسانة بتغطيتها وعزل سطحها عن الخرسانة.

الخواص الحرارية للخرسانة

التمدد الحرارى

يسبب التمدد الحرارى إجهادات داخلية فى الخرسانة سيما إن كانت مقيدة الحركة وهذه الإجهادات قد تسبب شروخاً وتفتتاً فى الخرسانة إذا لم تؤخذ فى الإعتبار. ويعتمد معامل التمدد الحرارى للخرسانة بدرجة كبيرة على نوع الركام المستخدم وتدرجه. وقيمة معامل التمدد الحرارى للخرسانة = ١×١٠$^{-٥}$ لكل درجة مئوية (س^{٥}). كما أن معامل التمدد الحرارى لحديد التسليح = ١,٢×١٠$^{-٥}$ لكل درجة مئوية. ولأغراض التصميم فإنه لكل من الخرسانة العادية والخرسانة المسلحة يؤخذ معامل التمدد الحرارى مساوياً ١×١٠$^{-٥}$ لكل درجة مئوية.

الخواص الحرارية للخرسانة

التمدد الحرارى

$$\alpha = 1 \times 10^{-5}\ cm/cm \cdot c^{o}$$

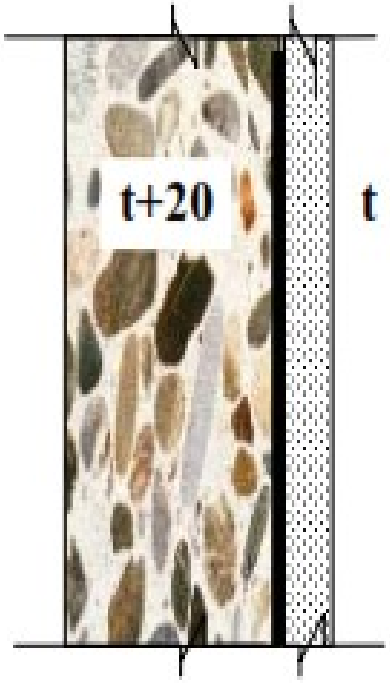
والإجهادات الحرارية (σ) يمكن حسابها من المعادلة:

$$\sigma = E \cdot \alpha \cdot (\Delta T)$$

حيث E معاير المرونة ، α معامل التمدد الحرارى ، (ΔT) فرق الحرارة.

الخواص الحرارية للخرسانة

التمدد الحرارى



مثال: إذا كان فرق درجات الحرارة المتوقع بين الجو الخارجى والخرسانة المغطاة بطبقة حماية هو عشرون درجة مئوية فإحسب إجهادات القص المتولدة بين الخرسانة وطبقة الحماية إذا كان معاير المرونة للخرسانة هو ٢٠٠ طن/سم٢.

الحـــل

$$\sigma = E\,\alpha\,(\Delta T)$$

$$= 200\,(10)^3 \times 1\times10^{-5} \times 20$$

$$= 40\ \ kg/cm^2$$

الخواص الحرارية للخرسانة

الموصلية الحرارية Thermal Conductivity (K)

وتعرف بأنها كمية الحرارة التى تمر عمودياً على السطح فى وحدة الزمن خلال مقطع متجانس من المادة مساحته الوحدة وتخانته الوحدة عندما يوجد فرق فى درجات الحرارة بين سطحى المادة مقداره الوحده. وتختلف هذه الخاصية بإختلاف درجات الحرارة وإختلاف كثافة المادة ودرجة تشبعها بالرطوبة ، وتقدر بوحدات وات/ م س° ، حيث س° ترمز إلى وحدة درجات الحرارة المئوية.

الخواص الحرارية للخرسانة

الموصلية الحرارية Thermal Conductivity (K)

وقيمة الموصلية الحرارية لمواد البناء الأساسية مثل الطوب بأنواعه والخرسانة والمواد الجبسية تتراوح من ٠,٢٠ إلى ٢,٠ وات/ م س ° ، أما المواد العازلة المستخدمة فى المبانى مثل البوليسترين والفيرموكليت والخرسانة الخفيفة الخلوية فتكون لها موصلية حرارية منخفضة تتراوح بين ٠,٠٢ إلى ٠,٢ وات/م س°.

الخواص الحرارية للخرسانة

المواصلة الحرارية Thermal Conductance (C)

وتعرف بأنها كمية الحرارة التى تمر عمودياً على السطح فى وحدة الزمن خلال مقطع متجانس من المادة مساحته الوحدة عندما يوجد فرق فى درجات الحرارة بين سطحى المادة مقداره الوحده.

ويمكن حساب المواصلة الحرارية بقسمة الموصلية الحرارية على تخانة المادة $(C = k/L)$

وتقدر بوحدات وات/م٢ س°.

الخواص الحرارية للخرسانة

المقاومة الحرارية Thermal Resistance (R)

هى مقياس لقدرة المادة على تقليل سريان الحرارة خلال وحدة المساحات لتخانة العينة المختبرة ، ويمكن حساب مقاومة المادة للحرارة وذلك بقسمة تخانة العينة (L) على الموصلية الحرارية (K). وهى مقلوب قيمة المواصلة الحرارية (C) ، وتقدر بوحدات م٢ س° / وات.

الخواص الحرارية للخرسانة

الحرارة النوعية للمادة Specific Heat (C_p)

هى كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة واحد كج من المادة درجة واحدة مئوية. ويقدر بوحدات جول/كج س° أو بوحدات وات . ثانية / كج س°.

الخواص الحرارية للخرسانة

السعة الحرارية لوحدة الحجوم Volumetric Heat Capacity (C_v)

هى كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة وحدة الحجوم من المادة درجة واحدة منوية ، وتقاس السعة الحرارية بوحدات جول/ م٣ س٥. ويمكن تعيين قيمة السعة الحرارية حسابياً بحاصل ضرب الكثافة (ρ) فى الحرارة النوعية للمادة (C_p).

$$(C_v) = \rho \times (C_p)$$

الخواص الحرارية للخرسانة

السعة الحرارية لوحدة الحجوم Volumetric Heat Capacity (C_v)

هى كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة وحدة الحجوم من المادة درجة واحدة منوية ، وتقاس السعة الحرارية بوحدات جول/ م٣ س٥. ويمكن تعيين قيمة السعة الحرارية حسابياً بحاصل ضرب الكثافة (ρ) فى الحرارة النوعية للمادة (C_p).

$$(C_v) = \rho \times (C_p)$$

الخواص الحرارية للخرسانة

الانتشارية الحرارية (γ) Thermal Diffusivity

الإنتشارية الحرارية تمثل سرعة إنتشار الحرارة خلال المادة أو بين سطحى المادة وهى عبارة عن خارج قسمة الموصلية الحرارية على السعة الحرارية لوحدة الحجوم. وتقدر بوحدات م٢/ثانية.

$$\gamma = k / C_v$$

وتعتبر الموصلية الحرارية (k) من أهم الخصائص الحرارية للمواد الإنشائية يلى ذلك خصائص أخرى مثل الحرارة النوعية للمادة والإنتشارية الحرارية وتفيد دراسة هذه الخصائص فى الأحوال الآتية:

أ ـ معرفة كمية الحرارة المنبعثة من الخرسانة الكتلية.

ب ـ معرفة خواص الحوائط الخرسانية من وجهة مدى الإحتفاظ بالحرارة.

ج ـ معرفة مدى تكثف الرطوبة أو الرشح على سطح الخرسانة.

مقاومة الخرسانة للحريق

مقاومة عنصر خرسانى ما للحريق هى الفترة الزمنية التى يتحمل خلالها هذا العنصر الحريق ويقاوم نفاذ اللهب والغازات الساخنة من خلاله و تتوقف مقاومة الخرسانة للحريق على العوامل الآتية:

١ـ سمك المنشأ الخرسانى : تزيد المقاومة كلما كبر سمك المنشأ وتعتبر الخرسانة الكتلية أكثر الأنواع مقاومة للحريق. ولذلك يراعى فى بعض المنشآت الخرسانية ذات السمك الصغير وكذلك فى الخرسانة سابقة الإجهاد Pre-Stressed أن يكون الغطاء بطبقة من الخرسانة أولاً يليها طبقة من المصيص.

مقاومة الخرسانة للحريق

٢- نوع المنشأ (مصمت أو مفرغ): تقل مقاومة الخرسانة المصمتة للحريق عن المفرغة وينبغى مراعاة أن تحتفظ الخرسانة بمقاومتها للأحمال بعد تعرضها لحرارة الحريق. وغالباً فإنه إذا استمر الحريق أكثر من ساعة أو إثنين فإن ذلك يجعل الخرسانة تصل لدرجة حوالى ألف درجة مئوية مما يجعلها لا تصلح بعد ذلك كمادة إنشائية نظراً لتشريخها الشديد مع تكسرها بتمدد حديد التسليح وتفتتها فى مواضع مختلفة. وتؤثر حرارة الحريق تأثيراً سيئاً على حديد التسليح من الصلب الطرى فتقل مقاومته وبالتالى إجهاد الخضوع مما يضعف تحمل الخرسانة المسلحة.

٣- نوع الركام : يوجد بعض أنواع الركام ذات مقاومة عالية للحريق مثل الركام الخفيف الوزن (خبث الأفران - الفورموكليت - كسر الطوب ... إلخ) يليها كسر الحجر الجيرى ثم يأتى بعد ذلك ركام الرمل والزلط.

مقاومة الخرسانة للحريق

٤- نوع الأسمنت وكميته : إذا تعرض الأسمنت بالخرسانة (أى الذى شك وتصلد) إلى الحرارة العالية فإنه - نظراً لإحتوائه على الماء- ينكمش ثم يتمدد بعد ذلك مما يسبب تفتت للخرسانة نتيجة لتوصيلها الردئ للحرارة مما يؤدى إلى فرق كبير فى الحرارة بين خارج الخرسانة وداخلها مما يولد إجهادات تسبب شروخ وتفتت للخرسانة.

وتؤثر الحرارة العالية تأثيرا سيئاً فى حالة الأسمنت البورتلاندى نظراً لوجود الجير الحر الذى يتكلس ويعاود الإتحاد مع الماء مما يسبب الزيادة فى الحجم وبالتالى تشريخ الخرسانة فكلما قل الجير الحر بالأسمنت كلما تحسنت مقاومته للحريق. فالأسمنت الحديدى أو الإسمنت العادى المخلوط بالمواد البوزولانية أفضل من الأسمنت البورتلاندى العادى. أما الأسمنت الألومينى فيعتبر أحسنها من هذه الوجهة نظراً لعدم احتوائه على الجير الحر. وتعتبر أكثر أنواع الخرسانة مقاومة للحريق هى تلك المصنوعة من أسمنت ألومينى و ركام خفيف أو ركام من كسر الطوب الحرارى.

مقاومة الخرسانة للحريق

وعلى اى حال فإنه يمكن إستخدام الأسمنت البورتلاندى العادى فى عمل الخرسانة المقاومة للحرارة حتى درجة ١٥٠ درجة مئوية بشرط أن تُعمل الإحتياطات لتسخين الخرسانة تدريجياً ويكون التغير فى درجة الحرارة بطيئا. أما إذا تعرضت الخرسانة لحوالى ١٠٠٠ درجة مئوية كما فى بعض المنشآت مثل أساسات الأفران والمراجل فإننا نستخدم الخرسانة المكونة من الأسمنت الألومينى و ركام كسر الطوب الحرارى.

تأمين تحمل الخرسانة مع الزمن

الحد الاقصى لمحتوى الاملاح والمواد الضارة بماء الخلط

نوع الملح	الحد الأقصى جرام فى اللتر
الأملاح الكلية الذائبة (T.D.S.)	٢,٠
أملاح الكلوريدات على هيئة Cl^-	٠,٥
أملاح الكبريتات على هيئة So_3	٠,٣
أملاح الكربونات والبيكربونات	١,٠
كبريتيد الصوديوم	٠,١
المواد العضوية	٠,٢
المواد غير العضوية وهى الطين والمواد المعلقة غير الرسوبية التى تعكر ماء الخلط	٢,٠

تأمين تحمل الخرسانة مع الزمن

الحد الاقصى لمحتوى ايونات الكلوريدات بالخرسانة

الحد الأقصى لأيونات الكلوريدات الذائبة فى الخرسانة المسلحة كنسبة مئوية من وزن الأسمنت	الظروف حول الخرسانة
٠,١٥	الخرسانة المسلحة معرضة للكلوريدات.
٠,٣٠	الخرسانة المسلحة غير المعرضة للكلوريدات.

تأمين تحمل الخرسانة مع الزمن

الحد الاقصى لمحتوى الكبريتات بالخرسانة

يجب ألا يزيد المحتوى الكلى للكبريتات فى الخرسانة على هيئة كب أ٣ على ٤% من وزن الأسمنت.

الحد الاقصى لمحتوى الاسمنت

يجب ألا يزيد محتوى الأسمنت فى خلطة الخرسانة عن ٤٥٠ كج/م٣ ما لم تكن هناك إعتبارات خاصة قد أخذت فى التصميم لتفادى التشريخ الناتج عن أنكماش الجفاف فى قطاعات الخرسانة الرقيقة أو الإجهادات الحرارية فى القطاعات السميكة.

تأمين تحمل الخرسانة مع الزمن

الحد الادنى لمحتوى الاسمنت والادنى لنسبة م/س

الظروف التى يتعرض لها المبنى بعد الإنشاء	الحد الأدنى لمحتوى الأسمنت كج/م٣ * المقاس الإعتبارى الأكبر للركام (مم)				الحد الأقصى لنسبة الماء/ الأسمنت	الحد الأدنى للمقاومة المميزة كج/سم٢
	٤٠	٣٠	٢٠	١٠		
عادية: الخرسانة محمية تماماً من الظروف الجوية والظروف المحيطة الضارة.	٣٠٠	٣٥٠	٣٥٠	٣٥٠	٠,٥٠	٢٥٠
متوسطة:الخرسانة غير المعرضة أو المعرضة للظروف المحيطة الضارة ولكنها مدفونة دائماً تحت الماء.	٣٠٠	٣٥٠	٣٥٠	٤٠٠	٠,٤٥	٣٠٠
قاسية:الخرسانة معرضة لظروف محيطة ضارة أو لماء البحر أو لدورات من البلل والجفاف أو الغازات... إلخ.	٣٥٠	٣٥٠	٤٠٠	٤٥٠	٠,٤٠	٤٠٠

* الحدود الواردة بالجدول لخلطات الخرسانة المسلحة المستخدمة ويمكن تخفيض أى محتوى أسمنت بمقدار ٥٠ كج/م٣ فى حالة أستعمالها لخلطات الخرسانة العادية (غير المسلحة).

** إذا كان المقاس الإعتبارى الأكبر للركام يقع بين قيمتين مذكورتين فى الجدول فيؤخذ محتوى الأسمنت المناظر للمقاس الإعتبارى الأقل.

*** يمكن إستخدام إضافات الملدنات أو الملدنات الفائقة لتقليل نسبة ماء الخلط والحفاظ على القوام المطلوب.

تأمين تحمل الخرسانة مع الزمن

متطلبات الخرسانة المعرضة للمهاجمة بالكبريتات

تركيز الكبريتات فى صورة ثالث أكسيد الكبريت (كب أ٣)			نوع الأسمنت	الحد الأدنى لمحتوى الأسمنت – كج/م٣				الحد الأقصى لنسبة م/س	الحد الأدنى للمقاومة المميزة كج/سم٢
فى التربة		فى الماء الأرضى		المقاس الإعتبارى الأكبر للركام (مم)					
كب أ٣ الكلى %	كب أ٣ فى مزيج من الماء والتربة بنسبة ٢:١ جم/لتر	جزء فى المليون		٤٠	٣٠	٢٠	١٠		
< ٠,٢	< ١,٠	< ٣٠٠	بورتلاندى عادى	٣٥٠	٣٥٠	٤٠٠	٤٠٠	٠,٥٢	–
٠,٢ إلى ٠,٣٥	١,٠ إلى ١,٥	٣٠٠ إلى ٧٠٠	بورتلاندى عادى	٣٥٠	٣٥٠	٤٠٠	٤٠٠	٠,٤٨	٢٥٠
			مقاوم للكبريتات	٣٠٠	٣٠٠	٣٥٠	٣٥٠	٠,٥٣	٢٥٠
٠,٣٥ إلى ٠,٥٠	١,٥ إلى ١,٩	٧٠٠ إلى ١٢٠٠	مقاوم للكبريتات	٣٥٠	٣٥٠	٤٠٠	٤٠٠	٠,٥٠	٣٠٠
٠,٥٠ إلى ١,٠	١,٩ إلى ٣,١	١٢٠٠ إلى ٢٥٠٠	مقاوم للكبريتات	٤٠٠	٤٠٠	٤٥٠	٤٥٠	٠,٤٥	٣٥٠
١,٠ إلى ٢,٠	٣,١ إلى ٥,٦	٢٥٠٠ إلى ٥٠٠٠	مقاوم للكبريتات مع تغطيات واقية مناسبة	٤٠٠	٤٠٠	٤٥٠	٤٥٠	٠,٤٣	٤٠٠

تأمين تحمل الخرسانة مع الزمن

متطلبات الخرسانة المعرضة للمهاجمة بالكبريتات (ملاحظات على الجدول السابق

* الحدود الورادة بالجدول تطبق على الخرسانة بركام طبيعي (م.ق.م ١٩٧١/١١/٩) كما يطبق على الخرسانة قرب المياه الأرضية بأس هيدروجيني من ٦ إلى ٩ ومحتوية على كبريتات طبيعية وليست مترسبة كأملاح.
** إذا كان المقاس الإعتبارى الأكبر للركام يقع بين قيمتين مذكورتين فى الجدول فيؤخذ محتوى الأسمنت المناظر للمقاس الإعتبارى الأقل.
*** فى الظروف القاسية مثل القطاعات الصغيرة تحت ضغط مائى من جانب واحد أو مغمورة جزئيا يلزم أن يؤخذ فى الإعتبار تقليل نسبة الماء للأسمنت و/ أو زيادة محتوى الأسمنت عن الحدود الواردة بالجدول لتحقيق أقل منفذية ممكنة للخرسانة.

تأمين تحمل الخرسانة مع الزمن

الخرسانة المعرضة للمهاجمة المزدوجة من الكلوريدات والكبريتات

الإضافية زيادة الغطاء الخرساني بحيث لايقل ٧ سم للخرسانة المعرضة للبلل والجفاف ولايقل عن ٥ سم للخرسانة المغمورة. كما يجب أن يستخدم نوع أسمنت تتراوح نسبة ألومينات ثلاثي الكالسيوم به بين ٦% و ١٠% ويمكن إستخدام الأسمنت البورتلاندى العادى الذى يفى بهذه النسب أو إستخدام الأسمنت عالى الخبث. كما يجب التأكد من أن الركام المستخدم خامل ولا يتفاعل مع قلويات الأسمنت.

تأمين تحمل الخرسانة مع الزمن

الخرسانة فى الظروف الحمضيه

يجب الإهتمام بمكونات وصناعة الخرسانة في حالة التعرض لظروف حمضية ذات أس هيدروجينى أقل من ٧ . يلزم لذلك زيادة الغطاء الخرسانى وإستخدام دهانات أو تغطيات مناسبة واقية من الأحماض ، كما يجب زيادة محتوى الأسمنت وتقليل نسبة الماء إلى الأسمنت وعمل دمك كامل للخرسانة. ويكون ذلك فى حالتى إستخدام أسمنت بورتلاندى عادى أو مقاوم للكبريتات. أما فى حالة وصول قيمة الأس هيدروجينى ٥,٥ أو أقل فتتخذ إحتياطات أكثر فى الحماية كما يفضل إستخدام أسمنت عالى الخبث.

تأمين تحمل الخرسانة مع الزمن

التفاعل القاوى للركام

يوجد نوعان من التفاعل القلوى للركام هما التفاعل القلوى مع السليكا و التفاعل القلوى مع الكربونات والنوع الأول أكثر إنتشاراً. ومشكلة التفاعل القلوى للركام أنه قد لايظهر إلا بعد زمن طويل ، كما أنه لا يوجد حتى الآن إختبار سريع ودقيق يمكن من خلاله معرفة إذا كان خلط ركام معين مع أسمنت معين بنسبة معينة سيؤدى إلى ظهور هذه المشكلة أم لا ، ونفس الوقت لاتوجد طريقة محددة للعلاج الدائم لهذه الظاهرة. وعلى أى حال فإن الكود المصرى لتصميم وتنفيذ المنشآت الخرسانية (٢٠٠١) قد تعرض لهذه الظاهرة وذكر بعض الإحتياطات الخاصة فى هذا الصدد:

تأمين تحمل الخرسانة مع الزمن

التفاعل القاوى مع السيلكا

حيث تحتوى بعض أنواع الركام على أنواع مختلفة من السليكا النشطة مثل الأوبال والكرستوباليت التى قد تتفاعل كيميائياً مع القلويات الموجودة أصلاً فى الأسمنت وغيره مثل أكسيد الصوديوم (Na_2O) وأكسيد البوتاسيوم (K_2O). وقد ينتج عن هذه التفاعلات مواد جيلاتنية تنتفش عند إمتصاصها للماء مما يؤدى إلى حدوث إجهادات داخلية فى الخرسانة قد تسبب تشققها أو تفتتها. وللحد من خطر التفاعل القلوى مع السليكا يمكن إتباع ما يلى:

تأمين تحمل الخرسانة مع الزمن

التفاعل القاوى مع السيلكا

١- إستعمال أسمنت بورتلاندى يحتوى على نسبة منخفضة من القلويات لا تتجاوز ٠,٦% محسوبة على هيئة أكسيد صوديوم (Na_2O).

٢- تحديد محتوى القلويات المكافىء لأكسيد الصوديوم (Na_2O) فى الخلطة الخرسانية بما لايزيد على ٣,٠ كج/م٣.

٣- إحلال جزء من الأسمنت فى الخلطة الخرسانية بمواد بوزولانية وذلك بعد الرجوع إلى مصادر متخصصة لتحديد كمية البوزولانا و مدى فاعليتها.

٤- العمل على تقليل نفاذ الماء إلى الخرسانة بإستخدام أغشية أو دهانات غير منفذة للماء.

تأمين تحمل الخرسانة مع الزمن

التفاعل القاوى مع الكربونات

قد تتفاعل بعض أنواع الركام من الحجر الجيرى الدولوميتى (Dolomitic limestone) مع القلويات فى الأسمنت منتجة مركبات تؤدى -مع مرور الوقت- إلى حدوث تمدد يؤدى بدوره إلى ظهور شروخ بالخرسانة تؤثر على تحملها مع الزمن. ويجب عند إكتشاف هذه الظاهرة فى الركام إستبعاده من الإستخدام أو إستخدامه مع أسمنت لاتزيد نسبة القلويات فيه على ٠,٤%. ونظراً لأن هذه الظاهرة تتأثر بالتركيب المعدنى للركام ونسبة الكالسيت إلى الدولوميت فإنه يجب الرجوع إلى جهات متخصصة لتعيين مدى تأثير هذه الظاهرة.