الفصل الثانى

تلـــف المـــواد المســـــامية

Deterioration of Porous materials

الضغط الميكانيكى

Mechanical stress

obeikandl.com

obeikandl.com

٢-١- سلوك المواد الهشه تحت إجهادات الضغط والشد

Stres- strain behaviour of brittle materials:

السلوك الميكانيكى للطوب والمون والحجر يمكن تعريفه بلفظ هش Brittle أو بتفصيل أكثر .... صلب وصلد وسهل الكسر . Hard, rigid and fragile

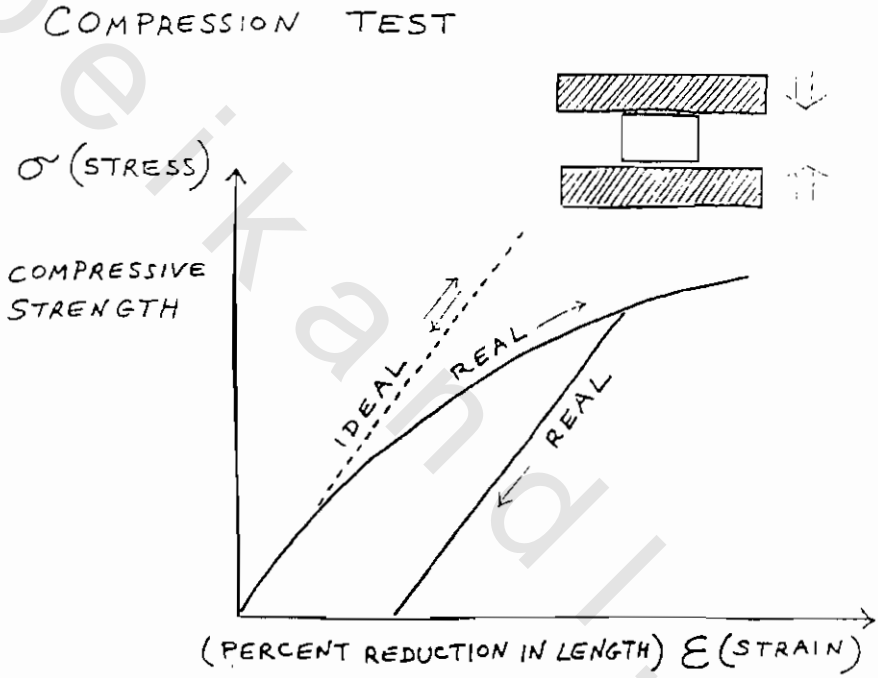
وغالبا مايتم دراسة السلوك الميكانيكى للمواد بواسطة اختبارات الشد والضغط Tension & Compression tests حيث تخضع العينات القياسية لزيادة فى الضغوط أو الأحمال، وكذلك تخضع لاختبارات الشد أو التغير فى الأبعاد.

وتسجل باستمرار هذه الاختبارات الإجهادات التى تتعرض لها العينات، والتى تؤدى إلى تكسيرها ، وتسمى مقاومة الضغط أو الشد لهذه المواد The tensile or compressive strength of the Material .

وفيما يلى رسم بيانى يوضح نتائج اختبارات الشد والضغط ، شكل رقم (١٥).

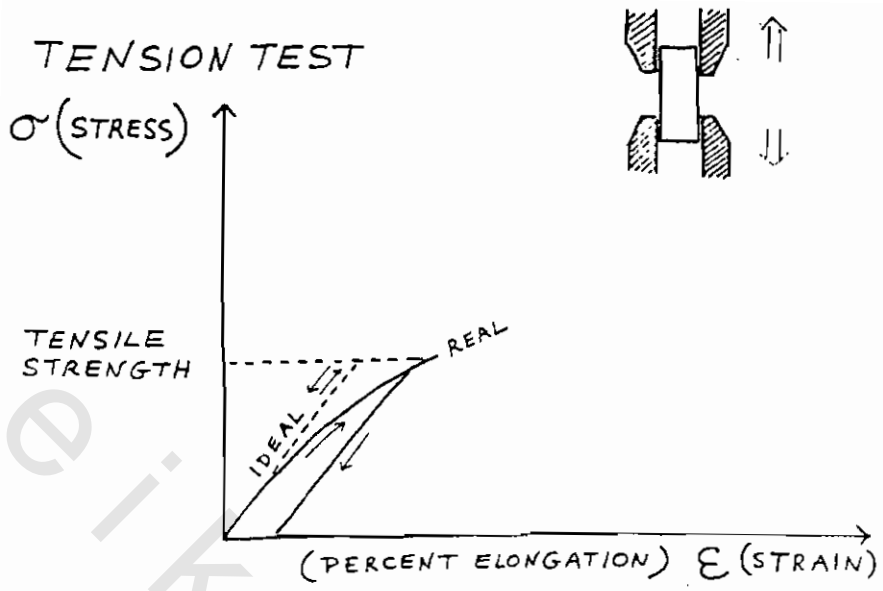
حيث يعبر محور الإحداثى الصادى (Y)عن الاجهادات أوالضغوط Stresses ومحور الاحداثى السينى (X) يعبر عن الشد Strain.

وفيما يلى أمثلة لمنحنيات نموذجية تمثل مقاومة الضغط والشد للمواد الهشة، شكل رقم (١٥)



شكل رقم (١٥/أ) يوضح

رسم بيانى لاختبارات الشد للمواد الهشه



شكل رقم (١٥/ب) يوضح

رسم بيانى لاختبارات الضغط للمواد الهشة

obeikandl.com

فى الحالة المثالية : المنحنى البيانى يمثل على هيئة خط مستقيم ويدل على أن قوة الشد تساوى قوة الضغط الموجهة للعينة . وفى هذه الحالة تكون النسبة بين قوة الشد وقوة الضغط ثابتة وهذا يعطينا فكرة عن قدرة المادة على مقاومة أى تغير فى أبعادها .

هذا الثبات لايعتمد على شكل العينة فحسب ، ولكن أيضا يعتمد على طبيعة المادة .. وهذا مايسمى المعامل Modulus أو معامل المرونة Elasticity modulus أو المعامل الشاب Young's modulus.

وتعتمد قيمة معامل المرونة على قوة الروابط التى تربط الذرات والبللورات معا داخل الماده .

أيضا فى الحالة المثالية ، عندما يتم إزالة الضغط فإن معامل الشد يجب أن يعود إلى نقطة الصفر، ويجب على المادة أن تعود إلى حالتها الأولى.

مثل هذا السلوك أو التصرف للمواد يسمى: السلوك المرن Elastic behaviour وتسمى هذا المواد مواد مرنه Elastic Materials .

ومن الرسم البيانانى السابق يتضح نتيجة اختبار مواد بناء حقيقية ، حيث نجد أن الخط البيانى غير مستقيم، وهذا يوضح أن معامل المرونة Modulus لايكون ثابتا على الأكثر.

أيضا قد يحدث بعض التشوه غير العكسى Irreversible deformation فى بعض المواد اللدنه بعد ازالة إجهادات الضغط من عليها، وهذا يرجع إلى حقيقة هامة هى : أن معظم مواد البناء تتكون من عناصر مختلفة ، لها خواص مختلفة أيضا Heterogeneous .

وقد تتكون هذه المواد من بللورات عديدة مختلفة أو مواد زجاجية Glasses تتماسك مع بعضها بواسطة روابط بقوى مختلفة ،وغالبا ماتبدأ بعض الروابط فى التكسر قبل الأخرى ، أو يحدث أن تتفكك بعض العناصر قبل الأخرى .. كل ذلك يسبب تشوهات غير عكسية فى مواد البناء.

كما أن هناك سبب آخر من أسباب الانحراف أو التغير فى السلوك المثالى Ideal behaviour لمود البناء ، عند تعرضها لاجهادات الضغط، وهذا يعتمد على حقيقة أن الضغط لايكون موزعا بانتظام أو بصورة متجانسة خلال العينة التى يتم اختبارها .

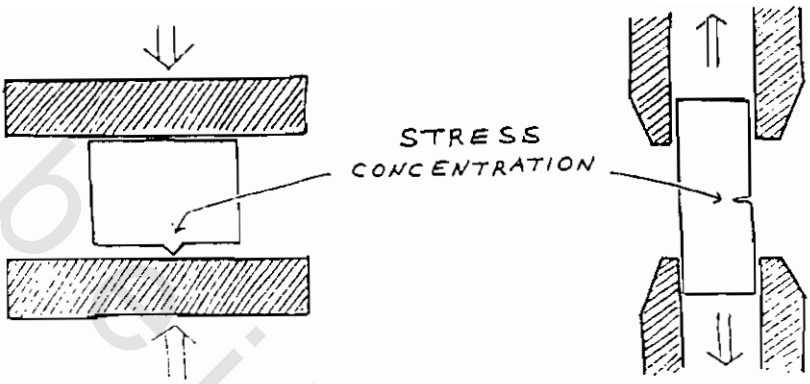
وبناء على ذلك يتركز الضغط على بعض المساحات دون الأخرى ، ونتيجة لذلك تتعرض بعض الأجزاء لضغوط أعلى من معدلاتها ، فى حين تتعرض أجزاء أخرى لضغوط أقل مما كان متوقعا لها ، فإذا كانت المادة متجانسة تماما ، فإن الأجزاء التى تتعرض لضغوط أعلى تبدأ فى التكسر قبل الأجزاء الأخرى .

وفيما يلى نذكرالمناطق التى يتركز عليها الضغط :

١- الأسطح غير المنتظمة فى اختبارات الضغط .

٢- الشروخ السطحية فى اختبارات الشد .

يظهر ذلك فى الشكل رقم (١٦).



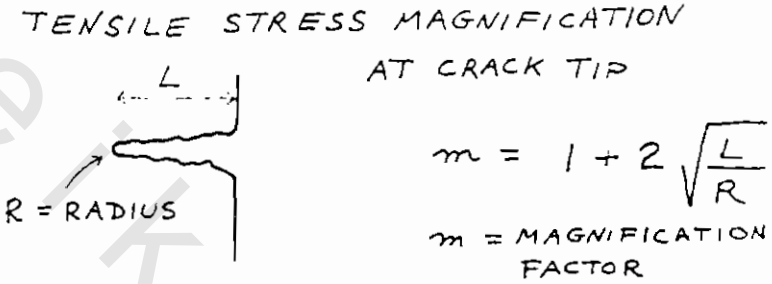
شكل رقم (١٦) يوضح

مناطق تركيز الضغوط فى العينات المختبرة

ومن المحتمل إلا تكون مواد البناء مواد لدنه ،وذلك لأنهايحدث بها تشوه غير عكسى إذا تعرضت لإجهادات الضغط ، ويطلق عليها مواد هشة Brittle ويحدث التشوه غير العكسى بصفة أساسية فى موادا لبناء الهشة بسبب الكسور الموضعيه Localized fractures مثل التشقق فى البللورات Cleavage in Crystals أو تكسر فى الزجاج Fracture in glass وهذه التشوهات لاتعود مرة ثانية بعد ازالة الضغط من عليها . المساحات المشوهة تكون أضعف من المساحات غير المشوهة ، وتحتوى علىالعديد من الشروخ الدقيقة .

وفى اختبار الشد لهذه المواد نجد أن تأثير تركيز الضغط فى مناطق التشوه – على الأخص – يكاد يكون ميتا Deadly .

وتبين معادلة تركيز اجهاد الشد أن عامل التعاظم أو التكبير Mlagnification factor على قمة الشرخ السطحى تتناسب مع الجذر التربيعى للنسبة بين عمق واتساع الشرخ Depth & width of the crack



شكل رقم (١٧) يوضح

معامل تعاظم ضغط الشد على قمة الشرخ

ومعادلة معامل التعاظم

وطبقا للمعادلة السابقة فإن الشرخ الدقيق أو الشعرى الموجود فى سطح المادة يمد قمته – قمة الشرخ – بإجهاد ضغط يتراوح بين ١٠–١٥٠ مره أعلى من نسبة إجهاد الشد.

وفى هذه الحالة فإن الشرخ يمتد بسهولة داخل المادة ويحدث الكسر طبقا لتعاظم قيمة الاجهاد . ويظهر التشوه فى هذه المواد بصورة أكثر من الذى يظهر بواسطة إجهادات الضغط فى اختبار الضغط .

obeikandl.com

هذا وتقاوم المواد الهشه إجهادات الضغط بصورة أفضل من إجهادات الشد، كما أن قوة مقاومة الشد فى هذه المواد تكون أقوى ، وذلك يعتمد على حالة سطح المادة .. مثل وجود شروخ من عدمه .

ويلاحظ أن معامل مرونة مواد البناء الهشه لايمكن قياسه باستمرا ، وبالتالى يعتبر غير ثابت .

وعندما تتعرض المواد الهشه لإجهادات عاليه نسبيا دون أن تتكسر ، فإنه يحدث بها – كما سبق الذكر – تشوه دائم ، كما يظهر بها بعض الشروخ الدقيقة Microscopic cracks فى المناطق التى تتعرض لضغوط عاليه، أو تتعرض لإجهادات داخلية .

هذه الشروخ تسلك سلوك المسام – بصفة خاصة – عند تعاملهما مع ظاهرة الامتصاص– امتصاص الماء مثلا – وهذا يفسر العلاقة بين الاجهاد الميكانيكى ، وعمليات التلف التى تحدث بواسطة زيادة المياه فى مسام المواد الهشة.

وربما يساعد دور الاجهاد الميكانيكى فى عمليات تلف المواد الهشه ، فى تفسير التناقض الذى يقابلنا غالبا بين اختبارات التجوية المسرعة (المعجلة) Accelerated weathering Tests وسلوك المواد الحقيقى Actual Field behaviour عندما يتم تطبيق مواد العلاج واختبارها .

حيث أنه فى اختبارات التسريع أو التسارع Accelerating tests التى تتم فى المعمل ، العينات تدور بين درجات الحرارة القصوى التى تتطابق مع حالة الجو Field conditions ولكن طبقا لصغر أبعاد العينات وتحررها من ظاهرة الاحتباس Constraints فإن نتائج الإجهادات تكون أقل

من تلك التى تؤثر على قطعة من مادة معرضه من خلال قطاع فى بناء حقيقى.

كما تتأثر مقاومة الشد أيضا فى مواد البناء المساميه القطبية ، بوجود مياه داخل هذه المسام . إذ أن الماء يسبب إنقاص مقاومة الشد ، وذلك لأنه عال القطبية ، وتستطيع جزيئاته بكل سهولة تكوين روابط على الأسطح الجديدة فى الشروخ الحديثة Newly opened cracks .

أما المواد غير القطبية- وبنفس البرهان السابق - تؤدى إلى إنقاص مقاومة الشد ، ويمكن توضيح ذلك عن طريق الإختبارات ،حيث ثبت أن شمع البرافين Paraffin wax على الرغم من أنه ليس له مقاومة شد تذكر ، فإنه ربما يزيد مقاومة شد الحجر الجيرى لأكثر من ٤٠٠٪.

٢-٢ الضغط الخارجى External stress:

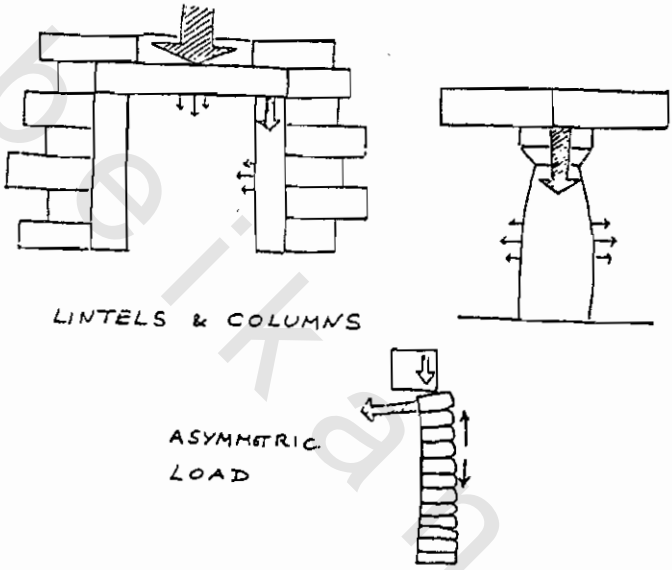
الضغوط الميكانيكية التى تتعرض لها مواد البناء، فى مكانها، تؤدى إلى تدهورها ، خاصة ضغوط الشدTensile stresses التى تؤثر فىالمواد الهشة ، ذات المقاومه الضعيفة .

وإذا لم تحدث هذه الضغوط كسور كبيرة Macroscopic breaking فإنها تسبب تشوهات دائمة، أو ثابته Permanent deformation وشروخ دقيقة Microscopic cracks يعجل من حدوثها نسب التجوية التى تعرضت لها هذه المواد.

وفيما يلى نذكر العديد من الميكانيكيات التى تؤدى إلى ضغوط محلية عالية Localized High Stresses فى مواد البناء.

- الحمل Load:

فى أى مبنى توجد بعض الأجزاء التى تكون عرضه لضغوط أعلى من الأجزاء الأخرى ، على سبيل المثال : الأعمدة Columns والعتب Lintels والدعامات Pillars . انظر الشكل رقم (١٨)



شكل رقم (١٨) يوضح

الضغوط التى تتعرض لهما الأعمدة والأعتاب

فى الغالب يكون الهدف من وجود ضغوط شد قليلة Minimize tensile stresses أنها تسمح لمواد البناء بالتصرف تحت ظروف اجهادات الضغط الرئيسية أو الحمل Mainly compression or load.

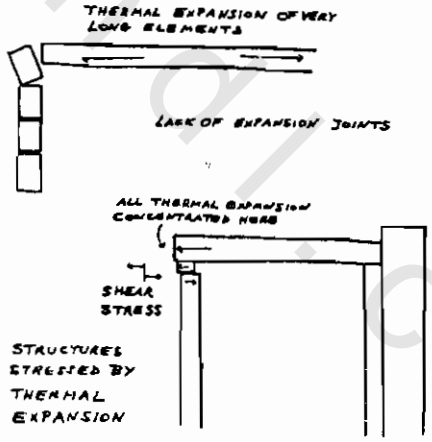
ومهما يكن فإن نظم الأسقف والأحمال غير المتماثلة ، وقوى الدفع الجانبية Side thrusts الخ تسبب بعض ضغوط شد Some tensile stesses، هذه الضغوط – فى الغالب – تلاحظ فى المبانى ، بصفة خاصة ،

فى الأجزاء التى تعرضت لقوى ضغط تحت تاثير عمليات التحلل السريعة. انظر الشكل السابق رقم (١٨).

- التمدد الحرارى Thermal expansion:

تخضع مواد البناء يوميا وموسميا لدورات الحرارة Temperature cycles " أى أن هذه المواد تتعرض للتغير فى درجات الحرارة يوميا وموسميا" مثل هذه الدورات تكون مصادر هامة للضغط ، لأنهما تودى إلى تمدد Expand هذه المواد عند ارتفاع درجة الحرارة . وانكماشها Contract عند انخفاضها . انظر الشكر قم (١٩)

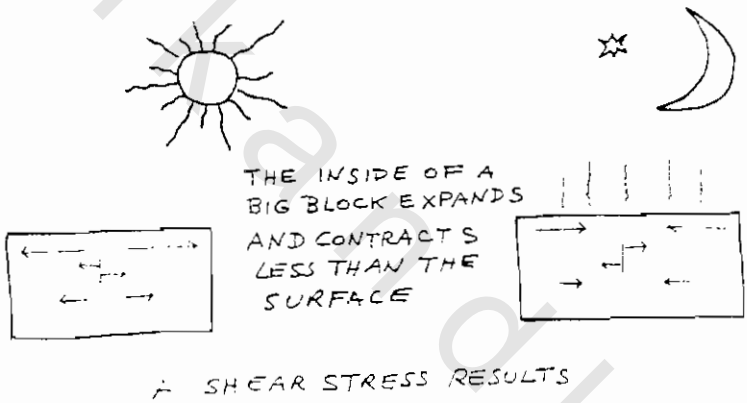
ويصبح التغير فى أبعاد مواد البناء، نتيجة طبيعية لحالات التمدد والانكماش المستمرة . ويزداد التغير نسبيا فى اتجاه الطول ، عندما يكون البناء عاليا ، وذلك لأن القطع الطويلة تكون عرضه لضغوط أكثر من القطع القصيرة . انظر الشكل رقم (١٩)



شكل رقم (١٩) يوضح
الضغوط الناتجة عن التمدد الحرارى لمواد البناء

وتزداد الضغوط داخل أجزاء المواد المتجانسة Homogeneous بين السطح الخارجي المعرض مباشرة ، للبيئة، ويتعرض لتأثير التغير الكبير فى درجات الحرارة ، وبين الأجزاء الداخلية، التى تبعد عن المؤثرات الخارجية المباشرة ، وتكون درجة حرارتها أقل من درجة حرارة السطح الخارجى.

وفى المناطق الصحراوية ، وعندما يكون الجو صافيا، فإن التغير فى معدلات درجات الحرارة يكون كبيرا جدا بين الليل والنهار ، حيث تبرد الأرض فى الليل عن طريق اتجاه الاشعاعات Radiation نحو السماء المظلمة The black sky . انظر الشكل رقم (٢٠)



شكل رقم (٢٠) يوضح

التمدد والانكماش فى مواد البناء نتيجة التغير فى معدلات الحرارة

ويتكرر حدوث ظاهرة التمدد والانكماش المعروفة بالتمدد الحرارى، فى المبانى، حيث تتسبب فى تحريك التمدد الناتج عن الحرارة فى عناصر

المبنى، الذى يحدث بدوره ذبذبات داخل هذه العناصر. وبما أن هذه العناصر مقيدة فى البناء ، فإن الذبذبات تسبب إجهادات ينتج عنها تشويه دائم أو شقوق فى العناصر المعمارية .

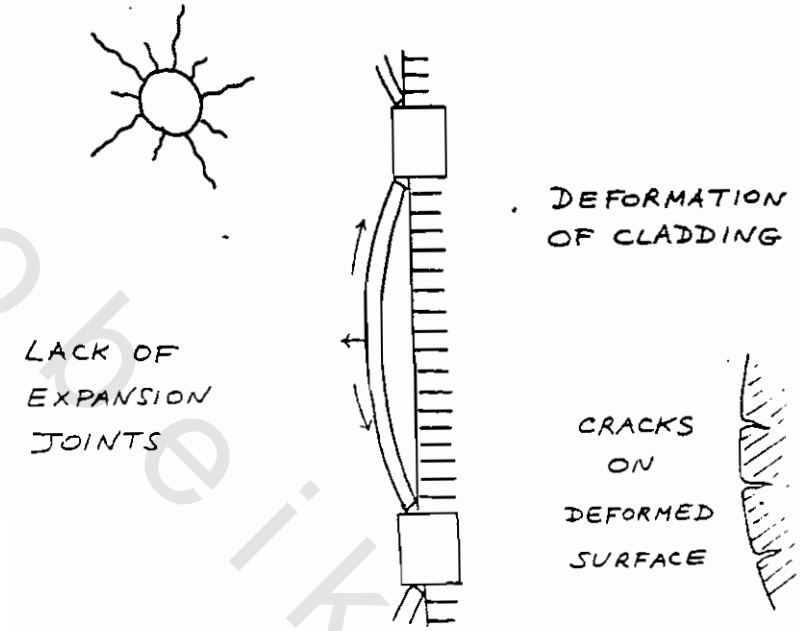
وعندما تظهر الشروخ أو الشقوق فى العناصر المعماريه غالبا لاتعود إلى حالتها الطبيعية مرة أخرى ، بصورة كاملة وذلك لأن حطام مواد البناء يسقط داخل هذه الشروخ ويؤدى إلى توسعتها تدريجيا أكثر فأكثر.

ومن الممكن أن تكون مواد الكسوة الخارجية محل ضغوط كبيرة إذا لم يراع المصمم ، أو يضع فى حسبانه التمدد الحرارى للمواد التى تستخدم فى تنفيذها .

فمثلا : الكسوه الحجريه تتمدد تمددا محدودا Restricted expansion بسبب الحرارة، هذا التمدد يسبب انبعاج ينتج عنه شروخ دقيقة، وتشوهات غير عكسيه فى السطح الخارجى للكسوه . انظر شكل (٢١).

مع ملاحظة أن البلاطات العديدة إذا جمعت مع بعضها فإنها تتصرف وكأنها قطعة واحده.

ويمكن حساب نسبة التمدد بسهولة ، ولو إفترضنا وجود بلاطه طولها ٦ م ، تعرضت لحرارة أعلى من الحرارة الجوية بمقدار ١٠ °م، فإنها سوف تتبعج بنسبة ٢٥مم، بمعدل تغير فى الطول حوالى ٠,٢٥ مم.



شكل رقم (٢١) يوضح

التشوهات التى تحدث فى طبقات الكسوة

الخارجية بسبب التمدد الحرارى

- تحلل الرخام **Deterioration of Marble:**

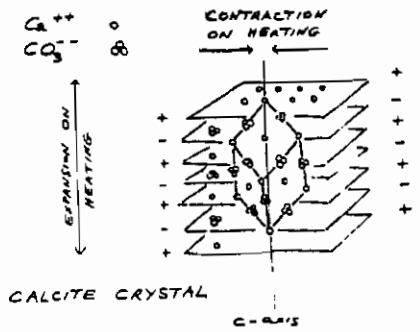
يحتوى الرخام على بللورات كبيرة من الكالسيت (كربونات الكالسيوم) ويتغير معامل التمدد الحرارى للكالسيت طبقا لاتجاه هذه البللورات ، أو مظهرها الخارجى .

وقد ثبت أن معامل التمدد الحرارى لبلوره الكالسيت

* $25\text{-}10^{-6}$ m/m°C along the C.axis
* -5.10^{-6} m/m°C across the C. Axis

وفيما يلى شكل يوضح تأثير زيادة درجة الحرارة على بللورة الرخام، حيث تتمدد البللوره فعليا فى اتجاه المحور (C) أى فى الاتجاه الرأسى أو

الطولى ، وتنكمش فى الاتجاه الأفقى أو العرضى The transversal direction. انظر الشكل رقم (٢٢)



شكل رقم (٢٢) يوضح
تمدد وإنكماش بللوره رخام بواسطة
التغير فى معدلات الحرارة

ويسبب التحرك الناتج عن التمدد والانكماش فى الرخام ضغوطا بين كل بللورتين تعرضتا لظروف التمدد " أى تعرضتا لزيادة الحرارة ".

وقد يحد نفس الشيء بسبب إتصال كل بللوره بالأخرى داخل معدن الكالسيت نفسه .

وعموما فإن الضغوط الحرارية The thermal stresses تحدث تفكك أو تصفح Cleavage داخلى فى البللورات."أى تنفصل البللورات عن بعضها".

لهذا السبب نجد أن الرخام تزداد مساميته بزيادة وقت تعرضه للحرارة فى البيئة المحيطة .

ونلاحظ أن شكل الشروخ التى تحدث نتيجة التمدد الحرارى، يوضح شكل وكيفية حركة المياه عند زيادتها داخل هذه الشروخ ، مما ينذر بحدوث عمليات تحلل فى الأجزاء الداخلية للمواد .

- التمدد الحرارى التفاضلى Differential thermal expansion:

تختلف بعض مواد البناء بشدة عن المواد الأخرى فى معامل التمدد الحرارى Expansion coefficient.

وفيما يلى جدول يوضح حركة تقريبية حرة Unrestrained movement فى قطع من مواد مختلفة ، عند زيادة درجة الحرارة ٣٠ °م." بمعنى أن هذا الجدول يوضح التمدد الطولى الذى يحدث فى بعض مواد البناء نتيجة تعرضها لإرتفاع فى درجة الحرارة ".

جدول رقم (١) يوضح

مقدار التمدد الحرارة لبعض مواد البناء

Materials	Thermal Expansion
Marble	0.15 mm
Cement concrete	0.3 ÷ 0.4 mm
Limestone	0.15 mm
Granite	0.25 mm
Lime - sand mortar	0.3 ÷ 0.4 mm
Brick and terracotta	0.15 ÷ 0.20 mm
Iron	0.3mm
Glass	0.3 mm
Aluminium	0.7 mm
Thermo-plastic resins	1.5 ÷ 3.0 mm
Reinforced plastics	0.7 mm

ويجب الوضع فى الاعتبار أن معاملات التمدد الحرارى للحديد والخرسانة تقريبا ضعف معاملات تمدد الطوب والحجر الجيرى والحجر الرملى ومونة الجير.

مثل هذا الاعتبار هام جدا خاصة عندما يتم وضع مخطط إنشائى لتسليح المبانى القديمة باستخدام مواد مثل : الحديد والخرسانة .

إذ أنه عندما يتصل هذين العنصرين بمواد البناء ويتجهان نحو التمدد أو الانكماش بطريقة أو بأخرى ، فإن الاجهادات سوف تزداد فى كل منهما . لكن المادة الضعيفة سوف تتكسر أو تتشوه بسرعة أكثر ،ويحدث فيهما شروخ ميكروسكوبية .

وفى الغالب فإن عناصر البناء القديم القريبة من المنشآت المسلحة الحديثة تتعرض للتلف المتزايد باستمرار، ويظهر بها شروخ دقيقة Micro cracks.

وفيما يلى قائمة بمعاملات التمدد الحرارى للمواد الشائعة الاستعمال فى المبانى .

جدول رقم (٢)

معامل التمدد الحرارى لبعض مواد البناء

Concrete	10.10^{-6}	
Concrete with gravel	$9 \div 12.10^{-6}$	
Concrete with expanded clay	$7 \div 9.10^{-6}$	
Cement mortar	$10 \div 11.10^{-6}$	
Lime mortar	$8 \div 10.10^{-6}$	
Lime stone	7.10^{-6}	
Brick	5.10^{-6}	
Granite	8.10^{-6}	
Glass (10% alkali)	$4.8.10^{-6}$	
Iron	$11.5.10^{-6}$	
Steel	$10 \div 14.10^{-6}$	
Copper	$16.8.10^{-6}$	
Aluminium	$23.8.10^{-6}$	
Lead	$29.4,10^{-6}$	

Pine, along fibres	$5.4.\ 10^{-6}$	across fibres $34.1.\ 10^{-6}$
Oak, along fibres	$3.4.\ 10^{-6}$	across fibres $28.4.\ 10^{-6}$
Fir		across fibres $58.4.\ 10^{-6}$
Wood Laminates	$10 \div 40.\ 10^{-6}$	
Polyester resins	$100 \div 150.10^{-6}$	
Glass-polyester laminates	$35 \div 45.\ 10^{-6}$	
Epoxy resins	$60..10^{-6}$	
Epoxy with silica filler (1:5)	20.10^{-6}	
Acrylic resins	$70 \div 80.\ 10^{-6}$	
PVC	$70 \div 80.\ 10^{-6}$	
Nylon 66	$70 \div 100.\ 10^{-6}$	

- التمدد بسبب الرطوبة Expansion due to Moisture:

تتمدد معظم مواد البناء عندما تمتصAbsorb الماء وتنكمش عندما تطردها Release it .

وفى الغالب فإن معاملات تمدد هذه المواد تكون صغيرة إلى حد ما وقد تتشابك معها الإجهادات الناتجة عنهما ، لذلك فمن المتوقع إهمال هذه الاجهادات عند حدوثها بسبب التغيرات فى درجة الحرارة Temperature variations.

ومن المهم جدا أن نضع فى الاعتبار التمدد الذى يحدث بسبب الرطوبة ، عند فحص المواد التى تحتوى على طفله Clay.

مثال ذلك : بعض أنواع الحجر الرملى الواسع الاستخدام فى البناء ، كالمولاس السويسرى The swiss Molasses الذى يتمدد عند بلله بنفس مقدار التمدد الذى يحدث عند زيادة درجة الحرارة التى يتعرض لها الأكثر من ٥٠ ° م .

وفى مثل هذه الحالة فإن التمدد بسبب الرطوبة يسبب إجهادات كبيرة ، تحدث بين سطح الحجر والأجزاء الداخلية – وبصفة خاصة – عند تبليل هذا السطح بالماء.

– الضغط الذى يحدث بسبب تقنيات العمل

Stress caused by working techniques

ربما يحدث التلف الميكانيكى لأسطح مواد البناء أثناء تجهيز هذه المواد للاستخدام، أو بسبب التنظيف الميكانيكى.

وذلك يحدث ،بصفة خاصة، فى الأحجار التى يتم الحصول عليها من المحاجر، بواسطة التفجير بالديناميت ، حيث تتصدع أسطح هذه الأحجار.

كما أن عمليات النحت والتشكيل باستخدام الشواكيش أو السكاكين أو غيرهم تؤدى إلى نفس النتيجة .

أيضا عمليات التنظيف باستخدام Grit blasting أو Scratch brushing ربما تسبب أضرار ميكانيكية على الأسطح ، عن طريق زيادة عدد الشروخ الميكروسكوبية والتى تؤدى دائما إلى تعجيل معدلات التجوية.

على العكس من ذلك يجب معرفة أن الصقل الجيد لأسطح الأحجار، أثناء إعدادها للاستخدام فى أعمال البناء ، يمكن أن يزيل كل عيوب المادة، وذلك لأن هذا العمل يؤدى إلى إعطاء المادة سطح أمامى أملس ناعم يقاوم عمليات التجوية ، ويصبح أكثر مقاومة لعمليات التلف .

ويلاحظ أنه فى معظم مواد البناء تعتمد معدلات التلف الذى يحدث بها على حالة أسطحها.

٢-٣- الضغط الداخلى Internal stress:

من الممكن أن ترتفع الضغوط داخل مسام المواد المنفذة ، وذلك عندما تتكون داخل هذه المسام بللورات ثلجية فى حالة وجود الصقيع Frost، أو عندما تتبخر المياه تاركة بللورات لمواد ذائبة – مثل : بللورات الملح Salt crystallization داخل مسام المواد .

فى كلتا الحالتين فإن نمو البللورات داخل مسام المواد يؤدى إلى وجود ضغوط داخلية " قد تتساوى مع مقاومة الضغط فى المواد التى تحيط بها " ، إلا أن زيادة ضغوط النمو البللورى – فى الغالب – يؤدى إلى تفتت هذه المواد .

ومهما يكن .. فإنه بالقرب من السطح ، يتعرض قطاع رقيق من المادة – طبقة رقيقة – لقوى دفع من الداخل ، قد تساوى قوى الشد التى تقتلعها من الخارج ، وربما يسهل ذلك من تشقق أو تفتت أو كسر المواد الهشه فى هذه الطبقة أو القطاع .

الميكانيكيات التى تحدث بواسطتها الضغوط الداخلية يمكن مناقشتها أو وضعها فى الاعتبار ، خاصة بعد ماتوفرت لدينا معلومات كافية ومتاحة لتفسير هذه المياكينات، إلا أن ذلك لايمنع أننا مازلنا فى حاجة إلى أبحاث أخرى .

الصقيع Frost:

يوجد ميكانيكيتان أساسيتان للضغوط الداخلية الحاصلة بسبب الصقيع يمكن شرحهما فيما يلى :

الميكانيكية الأولى : ميكانيكية دفع الثلج أو الصقيع Frost heave:

هذه الميكانيكية تعطينا فكرة عامة عن بللورات الثلج Ice Crystals أو عدسات الثلج Ice Lenses التى تنمو فىالفراغات الواسعة نسبيا ، لكنها لاتستطيع النمو فى المسام الضيقة إلا تحت ضغط .

والماء الموجود داخل المسام الصغيرة يمد البللورات بمصدر دائم للمياه عن طريق الانتشار Diffusion

الميكانيكية الثانية : الاحتبال أو الإمتلاء بالماء Water interapment:

تعتمد هذه الميكانيكية – فى الأصل – على زيادة الحجم الذى يتزامن مع عملية التجمد .

وفى هذا النموذج ، يكون الماء الذى يظل على حالة السيوله معوقا لعملية التجمد فى مناطق التجمد ، حيث لايجد مكانا يسمح له بالتجمد عندما يريد ذلك . وتظل المياه المتبقية متحركة فى حالة السيوله ، متنقله من مكان لآخر إلى أن تبدأ فعلا فى التجمد، لذلك ينشأ الضغط عندما يتجمد الماء المتبقى فعليا . انظر الشكل رقم (٢٣).

– تبلور الأملاح Salt crystallization:

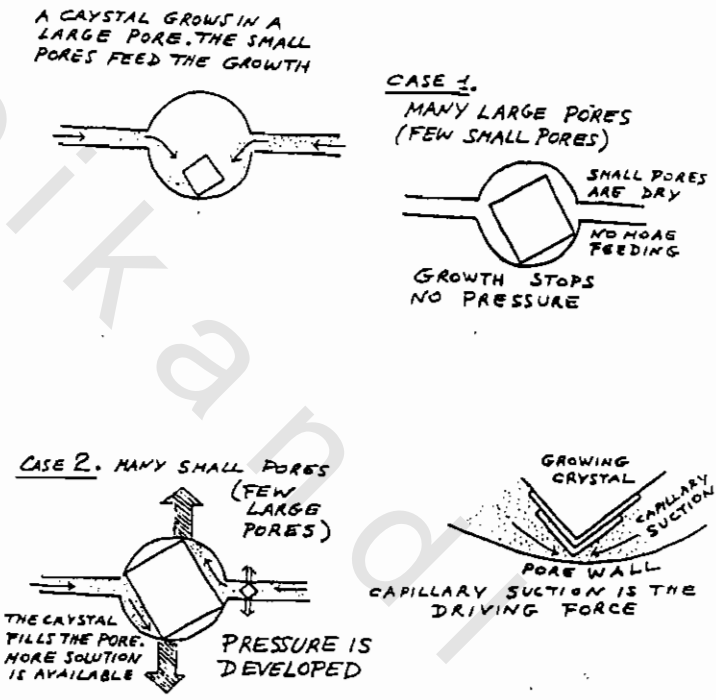
فى هذه الحالة – أيضا – يحدث نموذجين لميكانيكا التلف .

النموذج الأول : نموذج الدفع A Heave Model:

هذا النموذج يشبه نموذج دفع الثلج ، ويعتمد على نمو بللورات الملح فى المسام الواسعة ، أو الشروخ ، عندما تمتص هذه البللورات المحلول المائى من المسام الصغيرة . ولو استمر مص الماء متاحا من المسام

الصغيرة ، ستمتلىء المسام الواسعة بالبللورات مسببة ضغوط داخلية متلفة فى المواد .

وفى هذه الحالة – أيضا – تحدد النسبه بين حجم المسام الضيقة والمسام الواسعة ، مقدار الضغوط ، التى تزداد نسبتها غالبا فى المسام الضيقة – الدقيقة – عنها فى المسام الواسعة .



شكل رقم (٢٣) يوضح

حالات نمو البللورات داخل مسام المواد

الحالة الأولى : توقف نمو البللورات نتيجة جفاف المسام .

الحالة الثانية : استمرار نمو البللورات نتيجة وجود تحاليل داخل المسام.

النموذج الثانى : نموذج تميؤ الأملاح Hydrated salts:

هذا النموذج يعتمد على الأملاح التى تكون بللورات ملحيه مائية Hydrated salt crystals ، هذه البللورات تحتوى على بعض جزيئات الماء التى تشغل مواقع هامة ضمن تركيبها البللورى The crystal structure مثل: كبريتات الصوديوم Na2SO4.10H2O وكربونات الصوديوم $NaCO_3.10H_2O$ وكبريتات $CaSO_4.2H_2O$. بالاضافة إلى مركبات كيميائية أخرى عديدة ، مثل : الأملاح التى لاتكون بللورات مائية Not form Hydrated Crystals مثل كلوريد الصوديوم CaCl.

أيضا فإن الأملاح المائية ربما تتكون فى شكل بللورات بدون وجود الماء ، مثل : الانهيدرايت – كبريتات الكالسيوم غير المائية – وهذه تشغل أحجام أقل من الأملاح المائية .

والأملاح المائية قد تتضخم ببطء شديد وبنسب متفاوته لتملأ فى النهاية – بكل سهولة – كل الفراغات المتاحة داخل المسام الواسعة فى المواد، وينشأ عن ذلك ميكانيكة دفع Heave mechanism ذات فعالية كبيرة فى عمليات التلف .

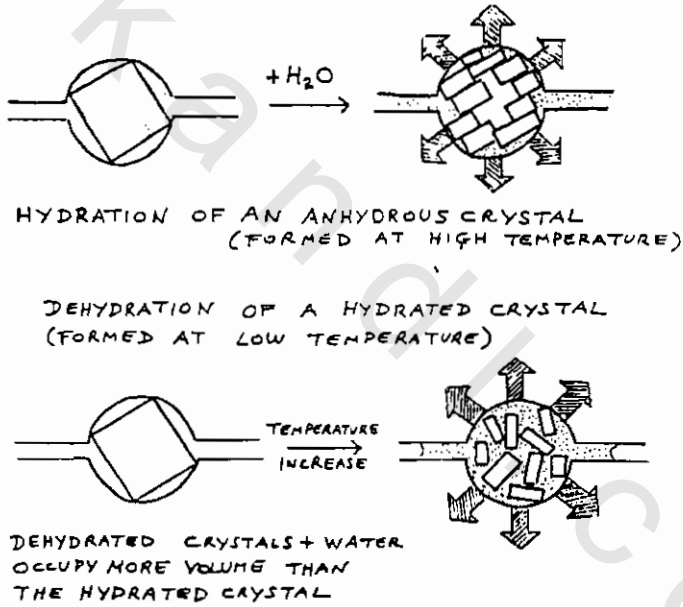
ومع ذلك فإن قدرتها الشخصية على خلق ضغوط تمزق Disruptive stresses تكون مشروطه بانتقالها إلى طور الانهيدرايت Anhydrite أو الأقل هدرته Less hydration . وهذا يعتمد على تاثير التغير فى حالة الجو المحيط بمواد البناء المسامية .

فمثلا : عندما تملأ البللورات المائية مسام المواد ترتفع الضغوط الداخلية، وعندما ترتفع درجة الحرارة ، وتنخفض الرطوبة النسبية ، تتحول

الحالة المائية Hydrated للأملاح إلى الحالة الأقل مائيه Less hydrated تاركة بعض جزيئات الماء حره .

ويلاحظ أن الحجم النهائى للبلورات الملحية تكون أكبر من البللوره الأصليه .

على الجانب الآخر فإن البللورات الملحية ، الأنهيدرايت أو الأقل هدرته، والتى تملأ المسام الواسعة ، من الممكن أن تنتقل إلى الطور المهدرت أو المانى، بواسطة إمتزاز الماء من المسام المحيطه . وتصبح هذه البللورات أكثر ضخامة ، وتضيف ضغوط أخرى ال الضغوط الموجودة أصلا بسبب تبلور هذه الأملاح . انظر الشكل رقم (٢٤)



شكل رقم (٢٤) يوضح

الضغوط الناتجة عن تكون بللورات الأملاح داخل مسام المواد

- التآكل النقرى Alveolar Erosion:

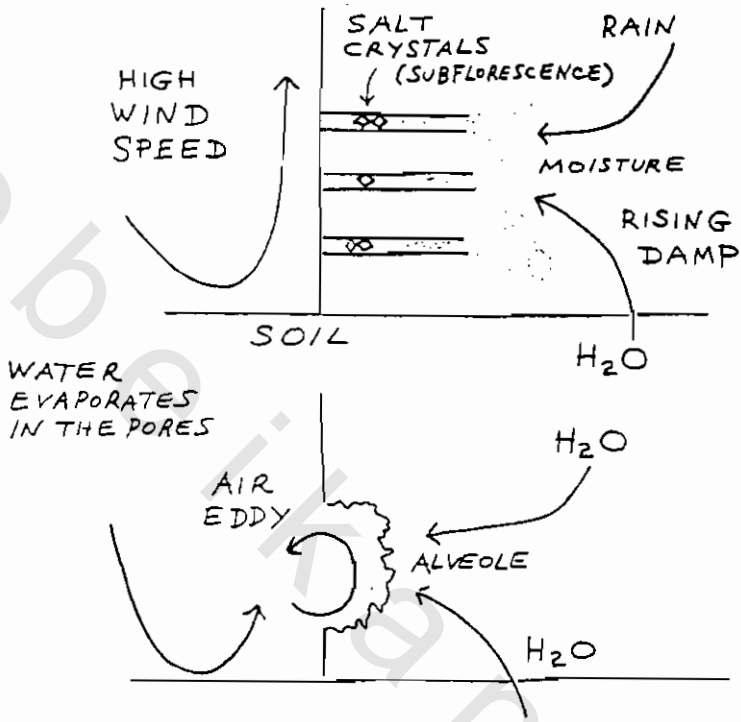
التآكل النقرى نموذج من نماذج تحلل المواد المسامية التى تلعب الأملاح المتبلوره أهم حلقاته .

ويعتمد التآكل النقرى على حقيقة هامة تميزه ، وهى حدوث عمليات تآكل فى مناطق مميزه لتكون فى النهاية تجاويف عميقة أو نقر Deep cavities or Alveoles وذلك فى الأسطح غير المحميه ، فى الوقت الذى لاتتاثر فيه الأسطح الأخرى القريبة من مناطق التآكل .

وتحدث عمليات التآكل النقرى دائما على الأسطح التى تتعرض للرياح الشديدة ، حيث تزداد دوره بخر الماء من هذه الأسطح .

فى مثل هذه الحالة لاتتكون طبقة رقيقة من الماء ، فى حالة السيوله ، على السطح الخارجى لمواد البناء ، لأن البخر يكون سريعا إلى حد كبير . كما أن معدلات الماء الذى يصل إلى السطح لتغذية البخر تكون غير كافية لذلك تظهر المواد وكأنها جافة ، إلا أن البخر يحدث فعليا تحت السطح فى المسام نفسها . ويزداد تأثير ضغوط تمزق بللورات الأملاح Disruptive stresses فى مناطق البخر ، ويبدأ سطح البخر فى التحلل بسرعة.

علاوة على ذلك يحدث تعجيل لعمليات التلف عندما تحدث فجوه فى السطح ، لأن الرياح تزداد سرعتها داخل هذه الفجوة بسبب دوامات الهواء كما يزداد البخر فى هذه المساحة النوعية . انظر الشكل رقم (٢٥)



شكل رقم (٢٥) يوضح

التآكل النقرى بفعل الرياح والأملاح المتبلوره

فى الماضى كان يعتقد أن الرياح هى السبب الأساسى فى تكوين النقر Alveole formation بسبب ظاهرة السفع بالرمال Sand blasting التى تحملها هذه الرياح عند تحركها .

لكن اتضح أن الرياح ليست العامل الأساسى ، وإنما هى عامل ثانوى يساعد فى زيادة التلف بواسطة النقر وأن العامل الأساسى فى هذا النموذج من التلف هو الأملاح المتبلوره . لكن الرياح تسبب نموذج آخر من نماذج التحلل يسمى : التآكل الهوائى Eolic erosion أو التآكل بالرياح .

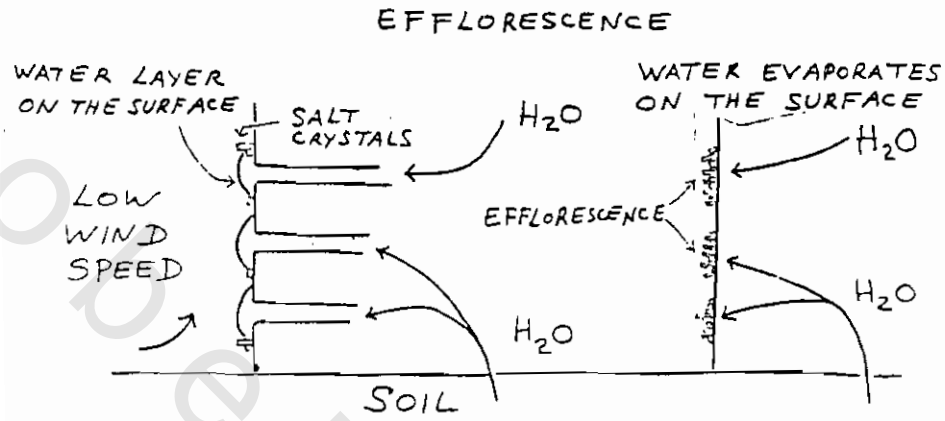
وقد يحدث أن يرى المرمم أثناء متابعته الدوريه للمبانى الأثرية المكشوفه ، الفجوات الناتجه عن التآكل النقرى ، ويقوم بعلاج هذه الفجوات علاجا موضعيا عن طريق ملئها بمواد مانعه للماء Impervious to water وفى هذه الحالة للأسف تنتقل عمليات البخر إلى الأسطح الميطة فى المادة الأصلية ، والتى تبدأ بالتالى فى التحلل " لذلك يجب أن يكون العلاج شاملا السطح كله " .

- تزهر الأملاح Efflore scences :

تزهر الاملاح عبارة عن : بللورات ملحية تتكون على أسطح المواد المسامية عندما يتبخر منها الماء، لأن الماء يغذى هذه المسام بكميات كبيرة ، أو لأن سرعة الرياح تكون قليلة .

فى هذه الحالة فإن بللورات الأملاح تتكون من نقط – وبصفة أساسية – خارج المسام ، والتاثير المتلف لهذه البللورات يكون ضعيفا أو قليلا.

هذا الحالة موضحة فى الشكل رقم (٢٦).



شكل رقم (٢٦) يوضح

تزهر الأملاح على أسطح المواد المساميه

- تأكل الكلابات الحديدية Corrosion of Iron Cramps:

تحلل حديد التسليح ينتج عنه زيادة فى حجم المعدن ، لأن صدأ الحديد Rust أو الأكاسيد المائيه Hydrated oxides سواء كانت كثيرة أو قليلة تشغل حجوم أكبر من حجوم المواد الأصلية .

ولو أن الحديد تم طمره Embedded فى مواد البناء عند استخدامه كمادة تقوية أو تجميع Issemblage or Reinforcement فإن تأكل الحديد ربما يتأخر لعدة عقود . " العقد عشر سنوات " لأن الماء الزائد والأكسجين يصلان إلى سطح المعدن ببطء شديد إلى أبعد حد .

ومع ذلك فإنه لو بدأ بعض التآكل فى الحديد ، فإن زيادة حجم الحديد، يسبب ضغوطا داخلية ، وتتكون شروخ دقيقة فى المواد المحيطة .

والنتيجة أنه يسهل وصول زيادة من الماء والهواء إلى سطح المعدن ، لذلك فإن عمليات التلف الخطيرة بعد أن تبدأ بصورة ضعيفة ، فإنها تزداد فجأه ، وفى وقت قصير قد تؤدى إلى نتائج مدمره.Catastrophic results.

وتوجد على سبيل المثال ، أمثلة هامة للتلف بسبب استخدام حديد التسليم فى المبانى الأثرية والتاريخية فى :

The temples of the Acropolis of Athens, the pantheon in paris and st. Paul within the walls in rome.

******

obeikandl.com