الباب الحادى عشر
صناعة الأسمنت

الباب الحادي عشر

صناعة الأسمنت

كلمة الأسمنت بشكل عام تعتبر مادة رابطة (Adhesive Materials) قادرة على ربط الأجزاء والكتل الصلبة فى شكل كبير متماسك . هذا التعريف يشمل أنواع كثيرة من المواد المختلفة . ولكن هذ التعريف بالنسبة للأغراض الهندسية بصفة عامة يطلق على الأسمنت الجيري والذي يحتوى على المواد الجيرية كأساس فى مكوناته . ويمكن تقسيم أنواع الأسمنت إلى قسمين :

أ- الأسمنت الغير هيدروليكي (Non-Hydraulic Cements) :

هذا النوع من الأسمنت غير قادر على التماسك (Setting) واكتساب الصلابة (Compressive Strength) فى وجود الماء ، مثال على ذلك الجير . أو غير قادر على الثبات من حيث الصلابة فى وجود المياه ، مثال على ذلك الجبس .

ب- الأسمنت الهيدروليكي (Hydraulic Cements) :

هذا النوع من الأسمنت له القدرة على التماسك (الشك) واكتساب المتانة والصلابة فى وجود المياه . ويعتبر الأسمنت البورتلاندي (Portland Cement) من أهم هذه الأنواع من الأسمنت . وتعرف كلمة الشك (Setting) بأنها تحول المادة من الحالة اللينة (العجينة) إلى الحالة الصلدة ،

أما كلمة الصلابة (hardening) هى عبارة عن اكتساب المادة سواء كانت المونة أو الخرسانة للمتانة الميكانيكية (Compressive strength) .

الأسمنت البورتلاندي العادي Ordinary Portland Cement :

1- المواد الخام المستخدمة في صناعة الأسمنت البورتلاندي :

تنقسم المواد الخام المستخدمة فى صناعة الأسمنت البورتلاندي إلى قسمين أساسيين :

أولاً المواد الرئيسية (Main Component) :

تتكون المواد الخام الرئيسية المستخدمة فى صناعة الأسمنت البورتلاندي من نوعين أساسيين من الخامات وهما :

أ- المواد الجيرية (Limestone) :

المواد الجيرية هى خامات طبيعية تحتوىعلى نسبة عالية جداً من كربونات الكالسيوم (Limestone) والتى تتحول أثناء عملية تصنيع الأسمنت إلى أكسيد الكالسيوم وثاني أكسيد الكربون . يعتبر أكسيد الكالسيوم CaO الأكسيد الرئيسي والذي يمثل حتى 67% من التركيب الكيميائي للأسمنت .

$$CaCO_3 \xrightarrow{850^oC} CaO + CO_2$$

ب- المواد الطينية (Clays):

وهذه المواد تحتوى بصفة أساسية فى تركيبها الكيميائي على أكسيد السليكا (SiO_2) وأكسيد الألومنيوم (Al_2O_3) نظراً لاحتوائها على نسب عالية من الكاولين التى يتمثل تركيبه الكيميائي فى الصيغة الآتية ($Al_2O_3.2SiO_2.2H_2O$) . وتمثل نسبة أكسيد السيليكا وأكسيد الألومنيوم

نسبة من 20%-30% من التركيب الكيميائي للأسمنت الخام . والمقصود هنا بالأسمنت الخام (الكلنكر) هو الأسمنت الخارج من الفرن الدوار بعد حرق المواد الخام عند درجة حرارة 1450°م درجة حرارة مئوية وقبل إضافة 4-6% من الجبس ($CaSO_4.2H_2O$) .

ثانياً : المواد المصححة Corrective Materials :

وهى مواد تضاف على الخامتين الأساسيتين (المواد الجيرية والمواد الطينية) وذلك للوصل للتركيب الكيميائي المطلوب للخلط المطلوب لتصنيع الأسمنت (Raw mix) . ومن أهم المصححة المستخدمة هى :

- **الرمل (Send)** : ونظراً لاحتوائه على نسبة عالية جداً من أكسيد السيليكا (SiO_2) .
- **خامات الحديد (Iron Ore)** : والتى تحتوى على نسبة عالية من أكاسيد الحديد .
- **خام الألومنيوم** : والتى يحتوى على نسبة عالية من أكسيد الألومنيوم (Al_2O_3) مثل البوكسيت (Bauxite) .

2- التركيب الكيميائي للأسمنت البوتلاندي :

Chemical Composition of Portland Cement

الأسمنت البوتلاندي يتكون بصفة أساسية من أربع أكاسيد رئيسية وهى بالترتيب حسب أولوية وجودها من حيث الكيف والكم :

أ- أكسيد الكالسيوم ب- أكسيد السيليكا .

جـ- أكسيد الألومنيوم د- أكسيد الحديد .

ويمثل وجود الأربع أكاسيد السابقة الأساسية حوالي 90% من وزن الأسمنت ولذلك تسمى هذه الأكاسيد بالأكاسيد الأساسية أو المكونات الأساسية. أما نسبة الـ10% الباقية من التركيب الكيميائي للأسمنت تتكون من الماجنيزيا (MgO) والأكاسيد القلوية مثل أكسيد الصوديوم وأكسيد البوتاسيوم (K_2O and Na_2O) وأكسيد التيتانيوم (TiO_2) وخامس أكسيد الفوسفور (P_2O_5) والجبس وتسمى هذه الأكاسيد والمركبات القليلة (Minor Component) .

يوجد تغير تدريجي فى التركيب الكيميائي للأسمنت على مدى الأزمنة المختلفة ، وهذا التغير التدريجي يعزى إلى زيادة نسبة الجير (CaO) وانخفاض قليل فى نسة السيليكا (SiO_2) .

ويتكون التركيب الكيميائي للأسمنت البورتلاندي داخل الحدود المبينة بالجدول رقم (1) :

جدول رقم (1) : حدود التركيب الكيميائي للأسمنت البورتلاندي

الأكسيد	نسبة وجوده
CaO	60-67
SiO_2	17-25
Al_2O_3	3-8
Fe_2O_3	0.5-6
MgO	0.1-5.5
$Na_2O + K_2O$	0.5-1.3
SO_3	1-3

كما أن التركيب الكيميائي للأسمنت يتمثل بصورة أساسية فى الأربع أكاسيد الرئيسية الآتية : Fe_2O_3, Al_2O_3, SiO_2, CaO . لكل أكسيد من هذه الأكاسيد الأربعة دور فى تكوين الكلنكلر ، ولكن يعظم دور CaO و SiO_2 ، وذلك لدورهم الأساسي فى تكوين سليكات الكالسيوم سواء كانت سليكات ثنائي الكالسيوم وسليكات ثلاثي الكالسيوم ($2CaO.SiO_2$ and $3CaO.SiO_2$) حيث يعتبر هذين المعدنين هما المسئولين الأساسيين عن الخواص الأساسية للكلنكر حيث تشكل نسبة تواجدهما معاً حتى 75% من محتويات الكلنكر . أما أهمية وجود الأكسيدين الأخرين (Al_2O_3 and Fe_2O_3) فهما يساعدان على خفض درجة حرارة تكوين الكلنكر ، وذلك فى المساعدة على تفاعل أكسيد الكالسيوم مع ثاني أكسيد السليكون لتكوين سليكات ثنائي وثلاثي الكالسيوم عند درجة حرارة أقل من درجة انصهارهما ، حيث درجة انصهار CaO تبلغ 2300°م ، ودرجة انصهار SiO_2 تبلغ 1710°م . لذلك وجود Fe_2O_3 و Al_2O_3 يعملان كمخفض (Fluxing Oxides) لدرجة حرارة انصهار الأكسيدين الأساسيين . حيث أن درجة الحرارة العظمي لتكوين الكلنكر هى 1450°م .

2- التركيب المعدني للأسمنت الخام

Mineralogical Composition of Clinker

نتيجة لحرق المواد الخام السابق ذكرها والتى تكون التركيب الكيميائي داخل الحدود الموضحة بالجدول رقم (1) فإنه يحدث تفاعل كيميائي بين هذه الأكاسيد عند درجة حرارة عالية (1450°م) وينتج لهذا التفاعل أربع مكونات رئيسية كالآتي :

$$CaO + SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3 \xrightarrow{1450°C} \begin{cases} 3CaO.SiO_2 & (C_3S) \\ 2CaO.SiO_2 & (C_2S) \\ 3CaO.Al_2O_3 & (C_3A) \\ 4CaO.Al_2O_3.Fe_2O_3 & (C_4AF) \end{cases}$$

ولكل من المكونات الناتجة من هذا التفاعل والتى تسمى معادن (Minerals) أو (Phases) خواص خاصة بها ومحصلة هذه الخواص للمكونات الأربعة السابق ذكرها ، تكون الخواص الأساسية للأسمنت البورتلاندي , وكما يلي سوف نستعرض خواص كل مكون (Phase) من المكونات الأربعة السابقة :

خواص للمكونات الأساسية للأسمنت :

أ- ثلاثي كالسيوم سليكات ($3CaO.SiO_2$) Tricalcium Silicates

يعتبر هذا المركب من أهم مكونات الأسمنت البورتلاندي ويرمز له بالرمز C_3S حيث يمثل نسبة تتراوح من 35% إلى 55% من نسبة المكونات الأربعة المكونة للأسمنت . ويتميز هذا المركب باكتساب الصلابة والتماسك والمتانة فى الأوقات المبكرة من عملية الهيدرة أى بمجرد إضافة الماء للأسمنت أو الخرسانة وفى الأيام الأولي من التفاعل ، وهو المسئول الأول عن الخواص الميكانيكية للأسمنت من حيث المتانة (Compressive Strength) وخاصة فى الأوقات المبكرة للتفاعل مع الماء. ويتميز هذا المكون بحرارة تفاعل مرتفعة نسبياً (Heat Hydration) وتبلغ حوالي 500 جول/جم .

ب- ثنائي كالسيوم سليكات (2CaO.SiO$_2$) Dicalcium Silicate :

يوجد هذا المركب فى أربع أشكال مختلفة وهى α-C_2S, $\bar{\alpha}$-C_2S, β-C_2S, γ-C_2S ، ويعتبر β-C_2S من أهم هذه الأشكال لأنه له القدرة على اكتساب الخواص الأسمنتية عند تفاعله مع الماء . ويتميز β-C_2S بانخفاض الحرارة المنطلقة عند تفاعله مع الماء حيث تبلغ 25 جول/جم .

نسبة وجود β-C_2S فى الأسمنت حوالي 25% من نسبة المكونات الأربع الأساسية ، وهو المسئول عن زيادة قوة المتانة (Compressive Strength) فى الأسمنت وخصوصاً فى الأوقات المتأخرة من التفاعل ، أى بعد 28 يوم من بداية تفاعل الأسمنت مع الماء .

جـ- ثلاثي كالسيوم الومينات C_3A Tricalcium Aluminate :

هذا المركب هو المسئول الأول عن عملية الشك فى الأسمنت (Setting) . فعند تفاعله مع الماء يحدث شك فوري سريع مع أنطلاق كمية كبيرة من حرارة التفاعل تقدر بـ850 جول/جم . لذلك عند طحن الأسمنت الخام يجب إضافة نسبة حوالي 5% من الجبس الخام لتهدئة عملية الشك ووصولها للمعدل المطلوب . وتمثل نسبة ثلاثي كالسيوم الومنيات من النسبة الكلية لمكونات مركبات الأسمنت من 7% إلى 15% .

د- رباعي كالسيوم الومينى فيرات

Tetracalcium Alumino Ferrite C_4AF

يتفاعل هذ المركب مع الماء بسرعة وتحدث عملية الشك فى خلال دقائق مع انطلاق كمية من حرارة التفاعل تقدر بـ420 جول/جم . وتقدر

الكمية الموجودة منه بنسبة 5% إلى 10% من النسبة الكلية للمكونات الأربعة للأسمنت .

الخطوات الرئيسية لصناعة الأسمنت البورتلاندي :

1- عملية تقييم الخامات الواردة من المحاجر :

وفيها تتم عملية التحليل الكيميائي والمعدني للخامات الرئيسية للوقوف على النسب المطلوبة لخلط الخامات الرئيسية والمواد المصححة للوصول للتركيب الكيميائي للخلطة المراد حرقها بالفرن الدوار لإنتاج الأسمنت الخام المعروف بـ (Clinker) .

2- تكسير المواد الخام (المستقدمة من المحاجر) :

يتم ذلك عن طريق استخدام الكسارات (Crushers) للوصول إلى قطر الحبيبات حوالي 2cm ، ثم يخزن كل نوع من المواد الخام منفصلاً عن النوع ا لآخر فى الصوامع .

3- نقل الخامات :

تنقل الخامات من أماكن تكسيرها فى المحاجر إلى المصنع عن طريق السيور الناقلة للخامات إلى خط الإنتاج .

4- تخزين الخامات :

تخزن الخامات فى صوامع خاصة بالتخزين وكل خامة لها صومعة خاصة Silo ، كذلك المواد المصححة مثل الرمل والبوكسيت والبوكسيت كل

فى صومعة خاصة ، وكل هذه الصوامع تدار بطريقة الكترونية وذلك لاتصالهم بالغرفة المركزية للتحكم بالمصنع .

5- تحديد نسب خلط المواد الخام ، وذلك لتحقيق المعايير التالية :

أ- التركيب الكيميائي المطلوب للمواد الناتجة بعد التفاعل .

ب- نسبة الجزء المسال أثناء عملية الاحتراق والتى تحدث ما بين 1250° م إلى 1450°م وهى المرحلة التى تتكون فيها ثلاثي كالسيوم سليكات ونسبة الجزء المسال يجب أن تكون فى حدود 18%-25% .

جـ- سهولة اختراق المخلوط (المواد الخام) (Burnability) : حيث يجب خلط المواد الخام بنسب تضمن سهولة الحرق ، وذلك بعدم زيادة نسبة السيليكا SiO_2 عن الحد المطلوب ، وأيضاً بتحديد نسب المواد المساعدة على الحرق مثل Al_2O_3 ، Fe_2O_3 ويعتبر هذا العامل مهم جداً فى صناعة الأسمنت للأسباب الآتية :

- ترشيد استهلاك واستخدام الطاقة فى صناعة الأسمنت .
- الحفاظ على بطانة الفرن الدوار من التلف .
- الوصول على النسبة المطلوبة من ثلاثي كالسيوم سليكات $3CaO.SiO_2$ فى مرحلة التلبيد (Sintering Zone) .

6- طحن المواد الخام بعد خلطها (Grinding) :

بعد تحديد نسب الخلط المقررة بناءاً على المعايير السابقة ، تطحن هذه المواد طحناً جيداً بواسطة أنواع مختلفة من الطواحين . فى هذه الطواحين تطحن المواد المخلوطة طحناً جيداً لدرجة عالية من النعومة (High

(Mixing and fineness) ، ثم تتم بعد ذلك عمليـــة الخلـــط والتجـــانس Homogeneity) .

وتتم عملية الطحن بطريقتين مختلفتين :

أ- إما فى وجود نسبة كبيرة من المياه (40%-50%) كما هو الحال فى تصنيع الأسمنت بالطريقة الرطبة (Wet Process) .

ب- أو فى عدم وجود المياه وتطحن الخامات على الحالة الجافة كما هـــو الحال فى تصنيع الأسمنت بالطريقة الجافة (Dry Process).

7- عملية حرق الخامات لإنتاج الكلنكر (Calcination Process) :

سوف نركز فى عملية التصنيع على الطريقة الجافة (Dry Process) لاستخدامها على نطاق واسع أكبر من الطريقة الرطبة . وكذلك كم الإنتـــاج الكبير فى الطريقة الجافة عن كمية الأسمنت المنتج فى الطريقـــة الرطبـــة ، حيث يصل حجم الإنتاج بالطريقة الجافة حتى 7000 t/d ، أما فى الطريقـــة الرطبة فإن حجم الإنتاج لا يزيد عن 1500t/d للفرن الواحد .

وهناك أيضاً الكثير من الأسباب التى تفضل استخدام الطريقة الجافـــة عن الطريقة الرطبة والتى لا يوجد مجال هنا لذكرها .

بعد طحن المخلوط المحضر من الخامات الأساسية السابق ذكرها وذلـــك فى حالته الجافة ، يتم شحن المخلوط فى السيكلونات وعددها أربعـــة مرتبـــة ترتيباً رأسياً وتسمى (Preheaters) وفيها تتدرج الحرارة من درجة الحرارة العادية حتى درجة حرارة 850°م -900°م فى السيكلون الرابـــع والأخيـــر والذي ينتهي عند مدخل الفرن الدوار . وفى هذه المرحلة تحدث التفـــاعلات الآتية :

- تبخر الماء الموجود بالمخلوط فى شكل رطوبة (Evaporation) .
- انطلاق الماء الموجود كأحد مكونات الطفلة .

$$Al_2O_3.2SiO_2.2H_2O \xrightarrow{500\text{-}700^oC} Al_2O_3.2SiO_2 + 2H_2O\uparrow$$

- تحلل كربونات الكالسيوم (الحجر الجيري) (Dissociation) .

$$CaCO_3 \xrightarrow{550\text{-}900^oC} CaO + CO_2\uparrow$$

- بدء اتحاد وتفاعل أكسيد الكالسيوم CaO مع اكاسيد الطفلة (Al_2O_3, SiO_2) .

ب- بعد بلوغ المواد الخام المحروقة فى السليكونات الرأسية عند درجة الحرارة (850°م – 900°م) ، تشحن هذه المواد فى هذه الحالة فى فرن (Rotary kiln) يميل ميلاً خفيفاً على المحور الأفقي ومبطن بأنواع خاصة من الطوب الحراري ، وجسم الفرن مصنوع من الصلب وقطر الفرن يبلغ 1/10 من طوله حيث يبلغ قطر الفرن 5 أمتار وطوله حوالي 50-70 متر ، ويدور الفرن بمعدل 1-3 لفة فى الدقيقة الواحدة .

بعد وصول المخلوط من السيكلون الرابع إلى بداية الفرن وهو الجزء الأعلى من الفرن . يتم حرق المخلوط بداخل الفرن الدوار حيث تختلف درجة حرارة المخلوط من مكان لآخر داخل الفرن حيث تتدرج درجة الحرارة من أعلى الفرن (بداية الشحن) من 1000°م لتصل إلى حوالي 1450°م فى نهايته.

بعد عملية الحريق داخل الفرن وعند الاقتراب من فتحة الخروج حيث درجات الحرارة العالية ، فإن المركبات الناتجة من التفاعلات تكون فى هيئة مادة صلبة رمادية اللون تسمى بالكلنكر (Clinker) أو الأسمنت الخام .

والخطوات التالية تبين التحول الذي يطرأ على المواد الخام عند درجات الحرارة المختلفة :

1- عند درجة حرارة ما بين 27 حتى 600 درجة حرارة مئوية تحدث عملية تبخر للمياه كذلك عملية التكسير لمجموعات الهيدروكسيل .

2- عند درجة حرارة 550 درجة مئوية تبدأ عملية تحول الـ $CaCO_3$ إلى $CaO + CO_2$ وهى ما تسمى بعملية Decarbonation وتنتهي هذه العملية عند 1000 درجة حرارة مئوية .

3- عند درجة حرارة 660 تبدأ الطفلة وهى المكون الرئيسي الثاني فى المواد الخام والتى تحتوى تركيبها فى الأساس على الكولينيت ($Al_2O_3.2SiO_2.2H_2O$) فى التكسير وتتحول بدورها إلى SiO_2 and Al_2O_3 بجانب وجود Fe_2O_3 الموجود فى الطفلة كشوائب عند درجة حرارة 950 .

4- فى نطاق درجة حرارة مئوية ما بين 550 وحتى 1280 تبدأ الأكاسيد المتحررة فى التفاعل مع بعضها البعض بما يعرف بتفاعلات الحالة الصلبة (Solid-State Reactions) والتى تبدأ عندها تكون الأطوار (Phases) المكونة للأسمنت الخام (Clinker) مثل C_2S, CA, and Ferrite بجانب وجود نسبة كبيرة من أكسيد الكالسيوم الحر (CaO_f) الذي لم يتفاعل بعد .

5- فى نطاق درجة حرارة مئوية ما بين 1250 وحتى 1450 تحدث عملية فيها يحدث انصهار جزئي لجزء من C_2S التى تكونت فى الخطوة السابقة ومن ثم يتحد هذا الجزء مع أكسيد الكالسيوم الحر (CaO_f) المتبقى من الخطوات السابقة لتكوين C_3S وهو من أهم الأطوار الموجودة فى مكونات الأسمنت :

$$C_2S + CaO_f \longrightarrow C_3S$$

6- المرحلة الأخيرة من هذه العمليات وهى عملية من أهم العمليات فى صناعة الأسمنت ألا وهى عملية التبريد (Cooling) وتتم هذه العملية تبريد الكلنكر الناتج فجائياً حتى لا ينكسر الـ C_3S ويتحول إلى C_2S, CaO_f .

جـ- تبريد الكلنكر (الأسمنت الخام) Clinker Cooling :

فى نهاية الفرن الدوار يوجد مبرد ، حيث تتم عملية تبريد الكلنكر الخارج من نهاية الفرن الدوار وذلك بمقابلة الهواء البارد له فى المبرد .

أن عملية التبريد للكلنكر لها أهمية قصوى على خواص الأسمنت الخام (الكلنكر) ، فيجب أن تتم عملية التبريد بسرعة كبيرة لكي لا يحدث تفاعل عكسي للمركبات الناتجة والتى تكونت أثناء الحرق فى الأسمنت الخام.

7- طحن الكلنكر (Grinding of Clinker) :

يطحن الكلنكر المبرد ويضاف إليه نسبة تصل إلى 5% من الجبس ($CaSO_4.2H_2O$) أثناء الطحن ، أهمية إضافة الجبس هو لضبط زمن الشك للأسمنت (Regulation of Setting) ، ويتم طحن الكلنكر مع الجسب إلى درجة عالية من النعومة تبلغ حوالي (2800 cm^2/g) ثم يخزن ويعبأ لكى يكون جاهزاً لعملية الشحن والاستخدام .

د- تفاعلات الأسمنت مع الماء (Hydration Reactions) :

إن عملية شك وتصلب الأسمنت البورتلاندي تحدث نتيجة للتفاعل بينه وبين الماء المضاف إليه عند درجات الحرارة العادية (5°م- 40°م) وفيها يتم تفاعل كلاً من ثنائي وثلاثي الكالسيوم سليكات مع الماء وينتج من هذا التفاعل

هيدروكسيد الكالسيوم وسليكات الكالسيوم المائية وتسمى (Tobermorite) ، وكذلك تتفاعل باقي مكونات الأسمنت مع الماء ، طبقاً للتفاعلات التالية على النحو التالي :

i) $2C_3S + 6H \rightarrow C_3S_2H_3 + 3CH$
ii) $2C_2S + 4H \rightarrow C_3S_2H_3 + CH$
iii) $C_3A + 6H \rightarrow C_3AH_6$
iv) $3C_3AF + 12H \rightarrow 2C_3AH_6 + 2C_3FH_6$

العوامل التى تؤثر فى معدلات التفاعلات السابقة :

1- درجة نعومة الأسمنت .
2- نسبة الماء المضافة إلى نسبة الأسمنت .
3- درجة حرارة التفاعل ، حيث يزيد معدل التفاعل بزيادة درجة حرارة الجو .

الأنواع المختلفة من الأسمنت البورتلاندي :

Different Types of Portland Cement

يتضح من الحديث عن صناعة الأسمنت البورتلاندي العادي أن C_3A, C_4AF ليس لهما دور مؤثر على اكتساب الصلابة والمتانة للاسمنت البورتلاندي العادي والتى تعتمد بشكل أساسي على وجود C_3S, C_2S .

وعلى الرغم من وجود C_3A, C_2AF قد يسبب الكثير من المشاكل فى الخواص الميكانيكية والفيزيائية للأسمنت بجانب ذلك فوجد C_3A يتسبب فى سهولة مهاجمة أملاح الكبريتات للأسمنت ، أيضاً انطلاق كمية كبيرة من حرارة التفاعل مما يتسبب فى التأثير على انخفاض قوة المتانة للأسمنت والخرسانة وخصوصاً فى الكتل الخرسانية الكبيرة ، فبرغم من هذه السلبيات

لوجود C_4AF, C_3A فإن وجود أكسيد الألومنيوم (Al_2O_5) وأكسيد الحديديك (Fe_2O_3) فى المواد الخام يساعد بصورة كبيرة فى عملية التصنيع ، حيث أن وجودهما يخفض درجة حرارة تكوين سليكات الكالسيوم (C_3S, C_2S) التى هى الأساس فى صناعة الأسمنت . لذلك فوجود Al_2O_3 ، Fe_2O_5 يعمل (Flux) أى مخفض لدرجة حرارة تكوين الكلنكر مما يتسبب فى خفض تكلفة إنتاج الأسمنت البورتلاندي . ولذلك فإن وجود $C_4AF + C_3A$ يجب ألا تزيد نسبتهما فى الكلنكر عن 15% .

1- الأسمنت سريع الشك Rapid-Hardening Cement :

فى هذا النوع من الأسمنت يجب أن تكون نسبة C_3S أكبر من نسبة وجوده فى الأسمنت البورتلاندي العادي وذلك على حساب وجود C_2S ، حيث أن سرعة الشك للمركب C_3S أكبر من سرعة الشك للمركب C_2S . لذلك يراعى فى تصنيع الأسمنت سريع الشك أن تكون نسبة الـ CaO فى المواد الخام المستخدمة فى تصنيع هذا النوع أكبر من نسبة وجوده فى المواد الخام المستخدمة فى تصنيع الأسمنت البورتلاندي العادي .

علاوة على ذلك يجب أن تكون درجة نعومة الأسمنت سريع الشك أكبر بكثير من درجة نعومة الأسمنت البورتلاندي العادي مما قد يساعد فى عملية الهيدرة فى الأوقات المبكرة من إضافة الماء للأسمنت .

2- الأسمنت المقاوم للكبريتات Sulphate Exesisting Cement :

هذا النوع من الأسمنت يطلق عليه أحياناً أسم (Set water cement) . وغالباً ما يستخدم هذا النوع فى الإنشاءات التى تتعرض لوجود أملاح فى

التربة أو أن تكون معرضة لمياه البحار التى تحتوى على نسبة عالية من أملاح الكبريتات والكلوريدات لذلك يجب أن يكون هذا النوع مقاوم لتفاعل الأملاح السابق ذكرها معه .

عند استخدام الأسمنت البورتلاندي العادي فى وسط يحتوى على أملاح الكبريتات كمياه البحار والمحيطات ، فإن أيونات الكبريتات SO_4^- يتفاعل مع المركب الثالث المكون للكلنكر C_3A ويكون مركب آخر يسمي ($3Ca.Al_2O_3.31H_2O$) كالسيوم سلفوألومينات وهذا المركب الجديد عند عملية الهيدرة يحدث له تمديد كبير فى الحكم مما يستبب فى إنهيار المتانة الميكانيكية للخرسانة .

لذلك فإنه عند تصنيع الأسمنت المقاوم للكبريتات يجب أن يحتوى على كمية قليلة جداً من C_3A وذلك عن طريق استخدام خامات تحتوى على نسبة قليلة من أكسيد الألومنيوم عن نسبة أكسيد الألومنيوم المستخدمة فى المواد الخام المستخدمة فى تصنيع الأسمنت البورتلاندي العادي .

3- الأسمنت الحديدي Portland Blast-Furnace Cement :

فى صناعة هذا النوع من الأسمنت يتم خلط 65% كلنكر الأسمنت البورتلاندي العادي مع 35% من خبث الحديد الناتج من الفرن العالي وتتم عملية طحن هذا المخلوط بعد إضافة نسبة 5% من الجبس .

والغرض من تصنيع هذا النوع من الأسمنت هو الحصول على أسمنت بورتلاندي بتكلفة أقل حيث يعتبر خبث الأفران العالية من المخلفات الصناعية الغير مستغلة .

4- الأسمنت البوزولاني (أسمنت الكرنك)

Portalnd-Pozzolana Cement

لإنتاج أسمنت الكرنك يتم خلط 60% من كلنكر الأسمنت البورتلاندي مع حوالي 35% إلى 40% من الرمل ويتم طحن هذا المخلوط بعد إضافة الجبس له . ويعتبر هذا النوع من الأسمنت ذات جودة أقل من الأنواع السابقة نظراً لاحتوائه على نسبة عالية من الرمال والتى ليس لها خواص أسمنتية .

5- الأسمنت الأبيض White Cement:

يصنع هذا الأسمنت بنفس طريقة الأسمنت البورتلاندي لعادي ولكن لا يجب أن تحتوى المواد الخام المستخدمة فى تصنيع الأسمنت الأبيض على أى نسبة من الأكاسيد الملونة وخصوصاً أكاسيد الحديد .

6- الأسمنت المنخفض الحرارة Low-Heat Cement :

يستخدم هذا النوع من الأسمنت فى إنشاء وبناء الكتل الخرسانية الضخمة والتى تتطلب عدم انطلاق حرارة تفاعل كبيرة أثناء إضافة الماء (الهيدرة) لذلك إذا نظرنا لمكونات كلنكر الأسمنت البورتلاندي العادي فنجد أن C_3A ينتج عند إنطلاق كمية حرارة تفاعل كبيرة جداً تبلغ حوالي 850 جول/جم . لذلك يجب عند تصنيع الأسمنت المخفض الحرارة مراعة أن تكون نسبة C_3A أقل ما يمكن ولا تزيد عن 4% ، وذلك باستخدام مواد خام تحتوى على نسبة قليلة من أكسيد الالومنيوم أقل من نسبة الالومنيوم الموجود فى المواد الخام المستخدمة فى صناعة الأسمنت البورتلاندي العادي .

الأسئلة

1- أذكر أنواع الأسمنت ؟

2- أذكر مع الشرح المواد الرئيسية والمواد المصححة التى تستعمل فى صناعة الأسمنت البورتلاندي ؟

3- أشرح التركيب الكيميائي للأسمنت البورتلاندي ؟

4- أشرح التركيب المعدني للأسمنت الخام ؟

5- أذكر بالتفصيل خواص المكونات الأساسية للأسمنت الخام ؟

6- أشرح الخطوات الرئيسية لصناعة الأسمنت البورتلاندي ؟

7- وضح الخطوات التى تتم فى الفرن العالي ؟

8- أشرح الأنواع المختلفة من الأسمنت البورتلاندي ؟