

Rezumat – etapa I: Identificarea relațiilor de interdependență între variabilele tehnologice și parametrii cuantificabili specifici procesului de clincherizare

Construcția rotativă a cuptorului de clincher nu permite observarea directă a condițiilor din cuptor și a proceselor care au loc în interior. Practic, este posibilă doar efectuarea unor măsurători indirecte a proceselor interne și doar într-un număr limitat de puncte. Astfel, reacțiile fizice și chimice care au loc în interiorul cuptorului pot fi monitorizate și evaluate doar în termeni de variabile auxiliare (temperatura, presiune, analiza gazelor) care sunt accesibile măsurării doar la capul rece și cald al cuptorului. În aceste condiții, este importantă evaluarea justă a reprezentativității modificărilor variabilelor măsurate, în scopul justificării implicațiilor tehnologice care se desprind din ele. Pentru operarea sigură a cuptorului rotativ de clincher cei mai importanți parametri monitorizați și controlați au fost prezentați în prezentul raport, alături de intervalele în care se încadrează valorile variabilelor de proces. Influențele prezentate au fost construite aprioric pe baza cunoașterii procesului tehnologic. Menținerea unui profil termodinamic în cuptor are ca efect obținerea stabilității cuptorului care se manifestă prin: scăderea variabilității parametrilor monitorizați, respectarea continuă a variațiilor tolerabile de la valorile prescrise, minimizarea intervențiilor operatorului. În scopul configurării controlului procesului de ardere a clincherului în cuptor rotativ, ținând cont și de parametrii controlați și monitorizați în mod obișnuit într-o fabrică de ciment, principalele variabile controlabile sunt CO, O₂ și NO_x în gazele de ieșire cuptor, controlul temperaturii gazelor la ieșire ciclon treapta IV, temperatura la capul rece al cuptorului. În acest a fost constituită matricea de control compusă din 6 variabile controlabile și 3 variabile manipulabile, prezentată în prezentul raport. **Matricea de control a cuptorului de ardere a clincherului reprezintă unul din rezultatele acestei etape a proiectului.**

Măsurarea formei cristalelor formate în clincher necesită un grup de mai mulți parametri care pot fi variabile independente care să explice / prediceze o variabilă dependentă a procesului. Metodele de descriere cantitativă a formei particulelor au fost clasificate, în prezentul raport, utilizând geometria Euclidiană și analiza conturului, ultima modalitate făcând apel la geometria fractalilor și analiza armonicelor (sau descriptorii Fourier). **O analiză asupra posibilităților și limitărilor fiecărei modalități în parte de cuantificare a formei particulelor constituie cel de al doilea rezultat al acestei etape a proiectului.** Astfel principalul dezavantaj al utilizării fractalilor a fost identificat ca fiind comprimarea detaliilor conturului elementului analizat într-o singură dimensiune fractală, în care poate fi încadrat un număr nelimitat de forme cu contururi diferite atât topologic cât și vizual. Analiza armonicelor (denumită și analiza spectrală sau descriptorii Fourier), considerată o metodă alternativă de caracterizare a formelor, avantajează analiza rugozității și a trăsăturilor texturale. Principala dificultate pe care o întâmpină analiza armonicelor este legată de unghiurile interne ale cristalelor cu contururi de poligoane concave și aflarea exactă a centrului de greutate al poligoanelor cu forme complexe. Parametrii de descriere a formei care utilizează geometria Euclidiană trebuie să întrunească trei condiții: să nu depindă de mărime, poziție și rotirea obiectului (particulă, cristal, grăunte, etc.) într-o imagine. În raport sunt prezentați cinci descriptorii geometrici, opt descriptorii de proporții și cinci descriptorii de contur cu trimiterile bibliografice către autorii care au introdus fiecare descriptor în parte și o scurtă discuție asupra tipului de particule pentru care sunt aplicabili.

Pentru a determina distribuția elementelor în urme în principalele faze ale clincherului, alit, belit, aluminat și feritaluminat de calciu, o căutare amplă a surselor oferite de literatura de specialitate a fost efectuată într-o primă etapă. Stabilizarea diferitelor forme polimorfe ale alitului (principală fază mineralogică a clincherului) de către diverși ioni străini prezenți în cantități minore sau în urme este luată în considerare, fiind prezentate atât limitele de solubilitate cât și forma polimorfă stabilizată de aceștia. Datele selectate sunt prezentate tabelar alături de sursa bibliografică. Este necesar a fi specificat că majoritatea studiilor de laborator din sursele bibliografice, prezentate sintetic în prezentul raport, au fost efectuate pe faze sintetice ale clincherului. Astfel, limitele maxime de încorporare determinate au fost atinse în condiții de echilibru, motiv pentru care nu pot fi comparate cu limitele tehnice/industriale de încorporare. Totuși, ele reprezintă o informație notabilă, indicând predilecția elementelor prezentate de a se fixa în faza silicatică (alit). **Raportul experimental (al treilea rezultat al etapei I a proiectului) prezintă, cu precădere, interpretarea măsurătorilor directe efectuate prin utilizarea microanalizei RX pe fazele cristaline individuale observabile în imaginile electronilor retroîmprăștiați.** Astfel, a fost determinat conținutul elementelor Ca, Si, Al, Fe, Mg, S, Na, K, P

și O din fazele individuale a șase clinchere de laborator și trei clinchere industriale, caracterizate în prealabil din punct de vedere al compoziției oxidice prin utilizarea spectrometriei de fluorescență RX. Materialele alternative utilizate la sintetizarea clincherelor analizate au considerat zgura cristalină pentru amestecul de materii prime și făina de oase animală pentru combustibilul alternativ. Cele trei clinchere industriale au fost necesare pentru a afla dacă limitele de încorporare a elementului străin, fosfor, în fazele cristaline observabile în clincherele de laborator au relevanță și în industrie. Necesitatea acestei activități a proiectului derivă din găsirea unei soluții de compromis la utilizarea atât a materiilor prime secundare cât și a combustibililor alternativi în procesul industrial de obținere a clincherului de ciment Portland.

Într-o etapă preliminară de analiză a clincherelor industriale conform nivelului de control care utilizează microscopia optică pentru evaluarea condițiilor de ardere din cuptorul industrial, au fost caracterizate șase clinchere din punct de vedere al compoziției chimice și fazale prin microscopie optică, difracție de raze X și dizolvare selectivă a fazei interstițiale. Suplimentar, în scopul creșterii acurateții determinării descriptorilor de formă a fost creat un algoritm care realizează detecția de contur pe imaginile color obținute pe cele șase clinchere, utilizând filtrarea Sobel cu nucleu 3x3 pe fiecare componentă de culoare și apoi aplicând extensia Cuman pentru imagini color cu scopul de a accentua contururile.

Rezultatele primei etape a proiectului au fost disseminate prin înscrierea a trei articole (în acest moment în etapa de rezumat) la ***conferința internațională 14th EcerS*** care va avea loc în perioada 21-25 iunie 2015 la Toledo, Spania.