

Een voorspelbaar rac

Trommeldrogers behoren tot de werkpaarden in de industrie. Ze functioneren betrouwbaar en kunnen grote hoeveelheden materiaal drogen in een kort tijdsbestek. Ze zijn geschikt voor het drogen van een breed scala van producten en worden al ruim 100 jaar gebruikt in de industrie. Denk aan het drogen van chemische zouten, zand, slib, hout, suikerbieten pulp, gras en groenvoeders. Je zou dus verwachten dat er technisch en wetenschappelijk veel bekend is over deze droogtechniek en dat informatie over opschalen, energieverbruik en productkwaliteit ruim voorhanden is. ebbens engineering uit Lochem ondervond echter dat trommeldrogen nog veel geheimen kent.

Jacqueline Beeren

Naar aanleiding van klantvragen ging ebbens engineering op bezoek bij experts uit de industrie en de universitaire wereld. ebbens beschikt over overall rekenmodellen voor trommeldrogers, maar het bedrijf had behoefte aan meer fundamentele rekenmodellen die op elke plaats in de trommel en op elk moment de condities weergeven van het drogende materiaal en de drooglucht. Zo'n model is namelijk een essentieel hulpmiddel bij het ontwerpen, optimaliseren en regelen van drogers, evenals bij het modificeren van bestaande drogers. Een optimaal werkende droger heeft volgens ebbens een zo hoog mogelijke doorzet, een zo hoog mogelijke productkwaliteit en een zo laag mogelijk energieverbruik. Bovendien moet de droger adequaat kunnen reageren op wijzigingen van de voeding en andere procesparameters.

ebbens model voor trommeldrogen

ebbens ontwikkelt samen met de universitaire wereld een fundamenteel model. Het bestaat eigenlijk uit twee delen: een materiaalmodel en een apparaatmodel. De basis komt gedeeltelijk uit literair gepubliceerd onderzoek (D. Reay, A scientific approach to the design of continuous flow dryers for particulate solids, Chapter 1 in Multiphase Science & Technology, Vol. 4, 1989). Het stromingsgedrag in de trommel is te complex om totaal theoretisch te beschrijven. De relevante parameters in het model zijn dan ook bepaald in het testlaboratorium van ebbens engineering.

Het materiaalmodel is specifiek voor het te drogen materiaal. Het bestaat uit sorptie-isothermen en droogkinetiek. De sorptie-isothermen van het product geven aan hoe sterk de binding tussen het vocht en het materiaal is. Het is mogelijk om uit deze isothermen de condities van de drooglucht af te leiden die nodig zijn om het gewenste eindvochtgehalte te halen. De droogkinetiek (of droogcurve) geeft aan hoe snel het materiaal zal drogen.

Het apparaatmodel verdisconteert de stroming van het drooggas door de trommel, de convectieve warmteoverdracht naar het product en de mechanismen die leiden tot het transport van de deeltjes door de droger. Empirische relaties geven het effect van de trommelconfiguratie en de procescondities op het breukgedrag en stromingsgedrag van de deeltjes.

Het totaalmodel is opgebouwd uit een stelsel vergelijkingen dat de volgende aspecten in beeld brengt:

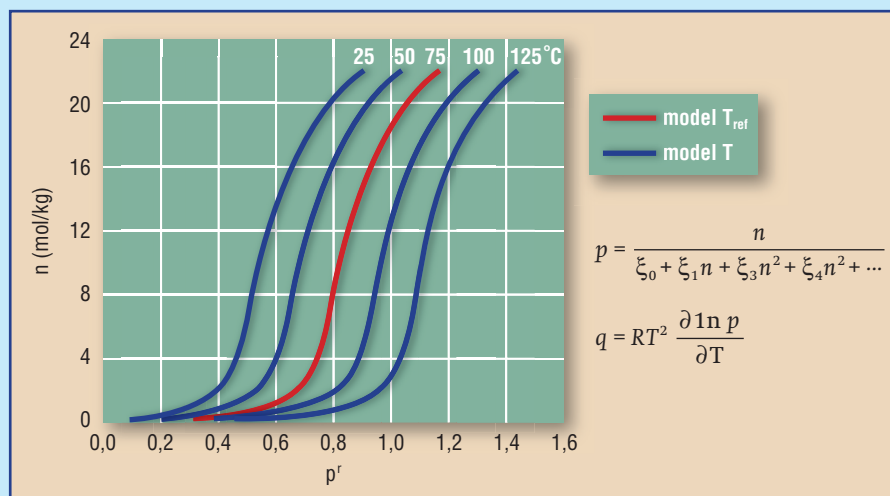
- psychrometrische condities (Mollier diagram)
- fysische eigenschappen van het product, als functie van vochtgehalte en temperatuur.
- sorptie-isothermen en het effect van de temperatuur hierop (zie figuur 2 als voorbeeld)
- empirische droogcurves of modellen ter beschrijving van de droogkinetiek
- axiaal transport van het drogende materiaal door de droger



Binnenzijde trommel met daarin schoepen.

- vocht- en energiebalansen over een segment Δz in de axiale richting van de trommel; 'z' is de lengtecoördinaat.
- energiebalans over de deeltjesfase in segment Δz

De energie- en vochtbalansen zijn opgesteld voor een droger in een stationaire situatie. Integreren over de lengterichting geeft de oplossing van dit stelsel vergelijkingen. Zo weet je op elke plaats in de droger de condities van het materiaal (vochtigheid, temperatuur, transportsnelheid) evenals de condities van de drooglucht (vochtigheid en temperatuur). De transportsnelheid is bekend en dus kunnen ook alle grootheden worden weergegeven als functie van de tijd. Figuur 1 geeft een voorbeeld van een adsorptie-isotherm uit de literatuur (Nan Qi, M. Douglas LeVan, Adsorption equilibrium modeling for water on activated carbons, Carbon 43 (2005) 2258-2263).



Figuur 1 Waterdamp-isothermen van actiefkool.

ad van avontuur



Binnenwerk trommeldroger

Wat gebeurt er in een trommeldroger? Ervaringen en kengetallen

Zoals gezegd behoren trommeldrogers tot de werkpaarden van de industrie. Ze kunnen enkele tonnen materiaal per uur drogen en zo'n 50 m³ vocht per uur verwijderen. Wel moet het poedervormige of korrelvormige product geschikte stromingseigenschappen bezitten en mag de fractie 'fines' niet te groot zijn.

Natte poedervormige producten met vocht aan het oppervlakte of zelfs gebonden vocht, kunnen op een relatief milde manier gedroogd worden in een trommeldroger. Dit gaat als volgt: nat product wordt in een langzaam draaiende trommel gevoerd en direct of indirect blootgesteld aan een heet gasvormig droogmedium, zoals hete lucht, hete rookgassen of oververhitte stoom. Bij de uitgang wordt het gedroogde product gescheiden van het gasvormige droogmedium. Vaak worden de drooggassen nog door een natwasser ('wet scrubber') geleid om eventuele emissies van stof en/of geur/stank te minimaliseren. Er zijn directe en indirecte trommeldrogers. Bij directe trommeldrogers wordt de warmte convectief overdragen aan het product door direct contact met de lucht. Bij indirecte trommeldrogers wordt de warmte indirect via conductie naar het product overgedragen. Bijvoorbeeld via condensatie van stoom in pijpenbundels, waarbij de warmte via contact van de deeltjes met de hete buitenwand van de pijpen wordt overgedragen.

Schoepen in de trommel

De droging in de roterende trommel verloopt vrij rustig met droogtijden variërend van 5 tot 60 minuten en bij een rotatiefrequentie van 4 tot 20 omwentelingen per minuut. De schuin geplaatste schoepen ('lifting flights') in de roterende trommel tillen het poedervormige product op. Onder een bepaalde hoek van de schoepen met de horizontaal begint het poeder onder invloed van de zwaartekracht van de schoepen af te schuiven en valt als een gordijn naar beneden ('cascading'). Tijdens het vallen zijn de deeltjes min of meer los van elkaar en maken goed contact met de stromende hete drooglucht en is er veel uitwisselingsoppervlak beschikbaar voor de warmteoverdracht en de verdamping van vocht. Vanwege meesleepkrachten die door het hete drooggas op de deeltjes worden uitgeoefend, vindt tevens transport in axiale richting plaats. Dit transport wordt nog eens versterkt doordat de trommel een kleine hoek maakt met de horizontaal. Een 'afschot' van 1:40 tot 1:20 is gebruikelijk. De tijd dat de deeltjes naar beneden vallen, wordt

in de literatuur de 'airborn phase' genoemd, en de tijd dat de deeltjes zich bevinden in het rollende bed beneden in de droger heet dan 'dense phase'. In de stationaire toestand is het volume van de trommel voor 20-40 procent gevuld met product ('hold-up').

De snelheid van de drooglucht ligt gewoonlijk in het bereik van 1-3 m/s en mag niet te groot worden omdat het al te rigoreus meeslepen van 'fines' in het product tot problemen met stofemissie kan leiden. Het energieverbruik in een standaard directe trommeldroger ligt in het bereik van 3500 – 12.000 kJ/kg water verdamping (zie 'Industrial Drying Technologies', Caddet Analysis Series No.12, juli 1994). In termen van stoomconsumptie is dat 1.5 – 5.5 kg stoom/kg verwijderd water. Dit is vrij ongunstig ten opzichte van andere typen drogers.

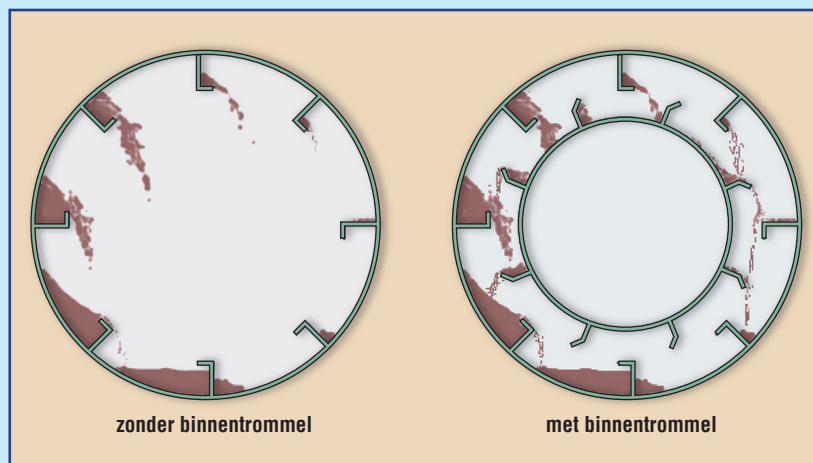
Botsende deeltjes

De deeltjes in een trommeldroger ondergaan een zeker mechanische belasting als gevolg van (1) wrijving van deeltjes onderling bij het afschuiven van de schoepen en (2) onderling wrijving tijdens hun verblijf in het rollend bed aan de onderzijde binnen de trommel ('dense phase') en (3) botsingen van vallende deeltjes op het bed of tegen wand van het apparaat. Alhoewel deze mechanische krachten mild van karakter zijn kan er bij bepaalde materialen toch ongewenste breuk van het product optreden. Ook ebbens engineering heeft dit ervaren bij experimenten in hun pilot-droger, maar door wijzigingen aan te brengen in de configuratie van de droger en door het optimaal plaatsen van schoepen met een aangepaste geometrie kon dit breukverschijnsel tot aanvaardbare proporties worden teruggebracht.

Energiebesparing een maatschappelijk belang

Drogen kost relatief gezien veel energie omdat er tijdens het proces water verdampt. Het is een maatschappelijk belang om dit energieverbruik zoveel mogelijk te beperken. De overheid subsidieert energiebesparing dan ook. De EIA (energie investering aftrek) kan een netto besparing opleveren van 13 procent op de hiervoor benodigde investeringen. ebbens heeft in de NWD (Nederlandse werkgroep drogen) voorgesteld om een energieprestatienorm voor drogers in te voeren. Gezien de maatschappelijke verantwoordelijkheid vindt ebbens dat de overheid een ondersteunende taak zou moeten hebben bij de invulling van zo'n prestatienorm.

Omdat breukverschijnselen en stromingsgedrag erg lastig in een model te vangen zijn, zijn deze aspecten empirisch onderzocht in een pilot. Daarvoor heeft ebbens engineering een pilot-trommeldroger gemaakt in diverse uitvoeringen. In de pilot-trommeldroger zijn de invloed van een binnentrommel en verschillende configuraties voor de schoepen (zie figuur 2) op het breukgedrag onderzocht. Dit onderzoek moet resulteren in een nieuw progressief ontwerp voor een trommeldroger in het productieproces. Dit nieuwe model zal niet alleen minder energie verbruiken maar ook kleiner zijn waardoor er minder materiaal nodig is om de trommeldroger te vervaardigen. ■



Figuur 2

ebbens engineering
Ir. R.M.H. (Rob) Vos
Ing. H.J. (Henk) ter Stege
tel. 0573 – 25 07 77
www.ebbens.nl