De beweegbaarheid van stortgoed

PACKO
SURFACE TREATMENT
Cardijnlaan 10 -8600 Diksmuide
Tel. 051 51 92 80 - Fax 051 51 92 98
marc.quaghebeur@packo.com

Stortgoed kan slechts uit een opslagtoestel naar beneden stromen zolang er voldoende lucht tussen de neervallende korrels naar boven stroomt. Die opwaartse luchtstroom door de pakkingstructuur van een stortgoed kan nu worden berekend. Dit leidt tot een indeling van het stortgoed in drie klassen, waarbij de beweegbaarheid van een specifiek stortgoed deskundig valt in te schatten.

Stortgoed is een mengsel van vaste deeltjes en lucht. Het gehalte lucht in deze massa wordt beschreven door de bedporositeit. De voornaamste karakteristieken van de vaste deeltjes in dit verband zijn de korreldichtheid en de korrelgrootte. Daarnaast bestaat nog een hele waaier van deeltjeseigenschappen, zoals korrelgrootteverdeling, vormfactor, hardheid en oppervlaktegesteldheid. De aanwezige lucht in de poriën tussen de gestapelde deeltjes kenmerkt zich door luchtdichtheid, luchtviscositeit en vochtgehalte. Ook hier moet in de industriële praktijk rekening worden gehouden met bijkomende kenmerken, zoals temperatuurwisselingen en luchtonzuiverheden.
Laten we de complexe beschrijving van stortgoed vereenvoudigen tot een theoretisch model van een stapeling van harde, perfect ronde bolletjes met een representatieve korreldiameter D_p en een korreldichtheid $\square_s$, in standaard omgevingslucht. Uitgaande van dit ideale stortgoed kunnen de volgende overwegingen worden gemaakt.

Afb. 1 Stortgoed kan slechts uit een opslagtoestel naar beneden stromen zolang er voldoende lucht tussen de neervallende korrels naar boven stroomt.

Luchtdoorstroming

Het ledigen van een opslagtoestel (zoals een silo) gebeurt onder invloed van zwaartekracht en start in feite als een dilatatiegolf van de bestaande stapelingsstructuur in alle richtingen. Deze lokale dilatatie van deeltjes kan echter slechts worden uitgebreid naar nabije korrellagen indien er voldoende tegenstroom is van de interstitiële lucht naar deze nabije korrelmassa. Deze luchtstroom vergroot dan de tussenruimte tussen de gestapelde korrels, zodat de individuele korrels minder wrijvingskrachten ondervinden.
Meer in detail, de tegenstromende lucht ondergaat een versnelling gevolgd door een vertraging in de engtes van het labyrint van kanaaltjes in de korrelmassa. Deze luchtstroming kan worden opgevat als een continue stroom van virtuele luchtbelletjes die wringend hun weg zoeken door de stapelingsstructuur. Het is dan aannemelijk voorop te stellen dat deze virtuele belletjes groter moeten zijn dan de equivalente diameter van de engtes, om die smalle doorgangen dynamisch te vergroten. Bij voldoende grote luchtbelletjes kunnen dan de sferische korrels in beweging komen onder invloed van de zwaartekracht. Het stortgoed kan in dat geval worden beschouwd als 'uitzetbaar/expandeerbaar'.

Klasse C

Indien echter de doorstromende luchtbelletjes niet groot genoeg zijn om de engten van de stapeling te vergroten, is het stortgoed niet in beweging te brengen. Het is dan 'onbeweegbaar/immobiel', ook in afwezigheid van enige adhesiekracht tussen de deeltjes. In fluidisatieliteratuur wordt dergelijk stortgoed gerekend tot de klasse C (cohesief, hoewel in bovenstaande beschrijving geen sprake is van cohesiekrachten).

Packo Micro Ondulatie van bulk en poeder apparatuur, voor goede doorstroming, voorkomen van brugvorming en schouwvorming. Packo Surface Treatment. marc.quaghebeur@packo.com

Cardijnlaan 10 -8600 Diksmuide
Tel. 051 51 92 80 - Fax 051 51 92 98
marc.quaghebeur@packo.com

Het is mogelijk om voor klasse C de grenswaarden voor de deeltjesgrootte kwantitatief vast te leggen. Hierbij wordt aangenomen dat de bellengrootte van de luchtpenetratie door de engten van de stapeling kan worden afgeleid van het bellengedrag bij het begin van de opborrelende wervellaag (bubbling fluidization). Voor de meest dichte stapeling van harde sferen (poriëngehalte 0,383) is de equivalente diameter van de meest enge kanaaldoorgang 0,0774 D_p. De resulterende grenswaarden voor de deeltjesdiameter van klasse C zijn dan bepaald door:

$$D_p^{1,5} (\rho_s - 1,2) = 1/3975$$

Klasse A/Klasse B

Bij voldoende grote luchtbelletjes kan de bedporositeit van de vast bed stapeling worden vergroot. Een kenmerkende situatie is deze waar de penetrerende luchtbelletjes even groot zijn als de deeltjes. Vanaf deze situatie is het stortgoed 'volledig mobiel/beweegbaar/vrijstromend'. De grenswaarden voor de overgang tussen de 'uitzetbare/expandeerbare' klasse A en de 'mobiele' klasse B worden beschreven door:

$$D_p^{1,5} (\rho_s - 1,2) = 1/1106$$

Mobiliteit

Uit de bovenstaande betrekkingen en enkele concrete grenswaarden vermeld in Tabel 1, is duidelijk dat de dichtheid van de vaste deeltjes belangrijk is voor de graad van mobiliteit: hoe kleiner de korreldichtheid, hoe groter de grenswaarden voor het al of niet uitlopen van stortgoed uit een opslagtoestel. Deze tendens is reeds lang gekend. Recent echter is deze tendens kwantitatief beschreven door bovenstaande betrekkingen, die weliswaar gelden voor een theoretisch stortgoed van harde, sferische korrels.

VOORBEELD: MOBILITEIT VAN ZANDKORRELS

In de praktijk kunnen de concrete grenswaarden worden toegepast mits deze representatief zijn voor een specifiek stortgoed. Nemen we als voorbeeld zandkorrels met een dichtheid van 2700 kg/m³. Uit de grenswaarden vermeld in de tabel kan dan worden afgeleid:

- Zandkorrels kleiner dan 22 µm met de meeste dichte pakking van 0,383 zijn niet meer beweegbaar, zelfs als van cohesie geen sprake is. Een volledige bezinking bij het opslaan van dergelijk zand dient vermeden te worden, bijvoorbeeld door het beperken van de opslagtijd en/of het in beweging houden van de korrelmassa met een opwaartse luchtstroom.
- Zandkorrels met korreldiameter tussen 22 µm en 48 µm blijven theoretisch in beweging bij het uitlopen uit een opslagtoestel als de opwaartse luchtstroom voldoende groot is voor de noodzakelijke expansie van de korrelmassa, ook al is de korrelmassa tijdens de opslag volledig bezonken tot de meeste dichte pakking van 0,383. In de praktijk zal men wel rekening moeten houden met de werkelijke karakteristieken van het stortgoed, zoals vormfactor, korrelgrootteverdeling, hardheid en oppervlaktegesteldheid. Hierdoor treden tussen de individuele korrels krachten op die de beweegbaarheid van het stortgoed verminderen. Metingen van het gedrag van een representatief monster kunnen dan duidelijkheid bieden over de feitelijke beweegbaarheid van een specifiek stortgoed.
- Zandkorrels groter dan 48 µm vertonen lokaal wervellaaggedrag bij het uitlopen uit een opslagtoestel. In de praktijk wordt de beweegbaarheid van stortgoed met een representatieve korreldiameter groter dan 48 µm minder gehinderd door de feitelijke karakteristieken van de individuele korrels. De bezinking van een dergelijke korrelmassa verloopt echter relatief snel zodat in een procestrein hiermee rekening moet worden gehouden. Het gedrag na opslaan van een specifiek stortgoed moet nog steeds deskundig worden opgemeten, op basis van een representatief monster.

Volledige bezinking

Deze bespreking is toegespitst op de moeilijke situatie van volledige bezinking tot de meeste dichte pakking met een bedporositeit van 0,383. Een situatie die bij de opslag en het transport van stortgoed regelmatig voorkomt. De berekende grenswaarden voor de korreldiameter in functie van de vaste stof dichtheid zijn derhalve aan de veilige kant. De nauwkeurigheid waarmee de representatieve diameter van het stortgoed wordt vastgesteld, is bepalend voor de juiste klasse-indeling van het stortgoed. BULK

Walter R. A. Goossens, milieutechnoloog. De wetenschappelijke achtergrond van dit artikel is gepubliceerd in Powder Technology 217 (2012) 356-360; 'Aeration as a criterion for the classification of particulate solids handling'

Dichtheid ρ_s	Grenswaarden korreldiameter in µm	
kg/m³	C/A	A/B
1000	40	94
2700	22	48
9000	9	22

Tabel 1 Enkele concrete korreldiameter-grenswaarden voor de klassen C/A en A/B bij drie dichtheden

Packo Micro Ondulatie van bulk en poeder apparatuur, voor goede doorstroming, voorkomen van brugvorming en schouwvorming. Packo Surface Treatment. marc.quaghebeur@packo.com