

Stortgoedkarakterisering

Meetmethoden voor de industrie

Stortgoedtechnologen houden zich bezig met het gedrag van deeltjesverzamelingen. Het gaat dus niet om de enkele deeltjes, hoewel de eigenschappen daarvan bepalend zijn voor de eigenschappen van de hele verzameling. De 'staat' waarin de verzameling verkeert, is echter vooral afhankelijk van de technische toepassing. Bij opslag bijvoorbeeld gedraagt een poeder zich anders dan in een pneumatisch transportsysteem.

door: Dr. ir. J.A.H. de Jong

Inleiding

De eigenschappen van een poeder zijn een functie van de manier waarop met het poeder wordt omgegaan. Dit betekent dat de karakterisering van deeltjesverzamelingen altijd in relatie moet staan tot de bewerking ervan. Zo zal bij malen en tableteren vooral worden opgelet op de eigenschappen die de maalbaarheid en de tableteerbaarheid beïnvloeden.

Bij transport en opslag van een poeder kunnen weer andere eigenschappen van belang zijn, zoals:

- stromingseigenschappen
- cakegedrag
- stuifgedrag
- sterkte
- slijtage-gevoeligheid
- doseerbaarheid
- segregatie

De uiteindelijke toepassing van het poeder kan weer eisen stellen aan heel andere eigenschappen, zoals het oplosgedrag, de uiteenvaltijd en de bevochtigbaarheid. Al deze eigenschappen dienen te worden gemeten, waarbij voor iedere eigenschap soms diverse meetmethoden beschikbaar zijn. De hoeveelheid eigenschappen van stortgoed, het nog grotere aantal meetmethoden en de talloze technieken die stortgoed kan ondergaan, hebben geleid tot diverse pogingen om het vakgebied van de stortgoedtechnologen op overzichtelijke wijze in kaart te brengen.

Indelingen

Een van de indelingen is in de 70'er jaren door de Werkgroep Stortgoedtechnologie voorgesteld, gebaseerd op de groepen van technieken zoals die zich in de praktijk voordoen:

- opslag en transport; opslag in silo's, menghoppen, pneumatisch transport, hydraulisch transport, mechanisch transport, doseren
- technologische bewerkingen (processing); mengen, agglomereren, tableteren, verkleinen, scheiden, classificeren, drogen
- reactoren; gepakt-bed-reactoren, fluid-bed-reactoren.

Vanuit het oogpunt van deeltjestechnologie is een ander onderscheid te maken, en wel tussen de volgende natuurkundige disciplines:

- mechanica; de krachten op deeltjes
- oppervlaktfysica; plakgedrag van deeltjes
- vaste stoffysica; breukgedrag van deeltjes
- twee-fasenstroming; deeltjesbeweging in vloeistoffen of gassen

De bestudering van alleen de mechanica van deeltjes, bijvoorbeeld bij opslag in een silo, zou voorbij gaan aan andere aspecten die het gedrag van de deeltjes beïnvloeden. In een silo kunnen deeltjes namelijk aan elkaar gaan plakken (oppervlak-fysica) of ook breken door de optredende drukken (vaste stoffysica). Verder zijn er altijd interacties met de omringende lucht die krachten op de deeltjes

uitoefenen (twee-fasenstroming). Bij een indeling op basis van natuurkundige disciplines is het dus zaak om de karakterisering zodanig uit te voeren dat in ieder geval de belangrijkste discipline wordt belicht en de betekenis van de andere disciplines wordt ingeschat.

Soorten

Stortgoed kan op basis van de stromingseigenschappen ofwel het loopgedrag in grote lijnen in drie groepen worden ingedeeld:

- 1) vrijstromend (free-flowing)
- 2) cohesief (plakkend)
- 3) airatable (luchtinsluitend)

Vrijstromend stortgoed bestaat uit deeltjes die niet aan elkaar plakken. Deze deeltjesverzamelingen leveren in de praktijk over het algemeen geen problemen op. De deeltjesgrootte is meestal groter dan 100 μ . Een voorbeeld is grof zand. Cohesief stortgoed kenmerkt zich door de aantrekkingskrachten die tussen de deeltjes onderling optreden. Deze 'interparticle force' met name de Vanderwaalskrachten, geven aanleidingen tot plakgedrag. Bij droge stoffen treedt dit verschijnsel vooral op bij kleine deeltjes (30-100 μ). Bij grotere deeltjes kan vocht plakgedrag veroorzaken. Airatable poeders sluiten gemakkelijk lucht in en laten die moeilijk weer los. Als deze poeders in beweging zijn, gedragen ze zich vaak als een vloeistof. In rust zijn ze meestal cohesief. De deeltjesgrootte is meestal kleiner dan 30 μ .

Porositeit

Het onderscheid tussen vrijstromende, cohesieve en airatable poeders blijkt dus samen te hangen met de deeltjesgrootte. In feite zijn bij de karakterisering van poeders twee grootheden kenmerkend:

- * de deeltjesgrootte en eventueel de deeltjesgrootteverdeling
- * de vrije ruimte tussen de deeltjes ofwel porositeit (voidage)

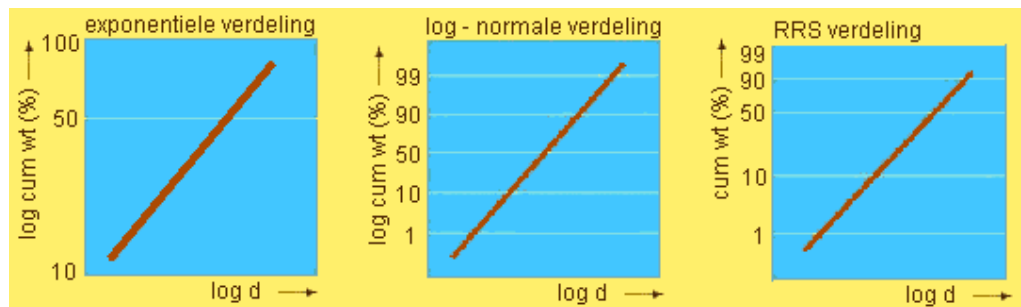
Het blijkt nu dat de porositeit toeneemt bij afnemende deeltjesgrootte. De oorzaak hiervan is dat kleine deeltjes elkaar kunnen aantrekken (plakken) en daardoor 'gewelven' of 'agglomeraten' vormen, waardoor ijle pakking ontstaat. Als vrijstromende deeltjes (>100 μ) niet bewegen, rusten ze op elkaar. De porositeit is lager dan bij cohesieve poeders en ligt bij benadering tussen 0.35 en 0.40 (afhankelijk van de vorm van de deeltjes). Om in beweging te komen, moet veel weerstand worden overwonnen. Op de bezwijkvlakken gaan de deeltjes ten opzichte van elkaar bewegen. Hierdoor moet de porositeit plaatselijk licht toenemen (tot 0.40-0.45). In stromende toestand echter raken de deeltjes elkaar nauwelijks en is alleen sprake van botsen. De weerstand tegen beweging is laag en de porositeit is groot (0.45-0.55). Zo kan men in een gefluidiseerd bed gemakkelijk roeren. De beweeglijkheid is nog groter in een suspensie, waar de deeltjes elkaar nauwelijks 'zien'. De porositeit ligt dan tussen 0.45 en 0.99.

Bewerking

De porositeit van het stortgoed is afhankelijk van de bewerking die het ondergaat. Bij tableteren, briketteren, walsen en granuleren bevindt het stortgoed zich in een gecompacteerd staat met een porositeit die kleiner is dan 0.35. Bij opslag en sommige vormen van mechanische transport is sprake van een gepakt bed in rust (porositeit: 0.35-0.45). Een 'langzame beweging' (porositeit 0.40-0.45) doet zich voor bij sommige vormen van mechanische en pneumatisch transport, granuleren, malen en mengen. Een 'snelle beweging' (porositeit: 0.45-0.55) treft men aan bij stromend poeder in standpi- pes, bij fluidisatie en bij sommige vormen van mengen en malen. Een suspensie (porositeit: >0.45) treedt op bij andere vormen van pneumatisch transport, malen en mengen, namelijk bij hoge bewerkingsnelheden. Het mag duidelijk zijn dat de karakterisering van een poeder betrekking moet hebben op de staat van de deeltjes in het proces.

Deeltjesgrootte

Er zijn veel meetmethoden om een deeltjesgrootte en een deeltjesgrootteverdeling te meten (tabel 1). Voor deeltjes groter dan circa 10 μ , zijn zeven en laserdiffractie de meest toegepaste methoden. De uitkomsten van een meting zijn afhankelijk van de toegepaste methode. Elke methode interpreteert het begrip 'diameter' namelijk op andere wijze. Het is daarom van belang om de diameter te definiëren zoals past bij het proces waarin de deeltjes zich bevinden. In een verzameling hebben de deeltjes meestal niet allemaal dezelfde grootte. De spreiding van de deeltjes- grootte wordt weergegeven in een deeltjesgrootteverdeling. Enkele bekende deeltjesgrootteverdelingen zijn de log-normale verdeling, de Rosin Ramler Sperling (RRS) verdeling en de exponentiële verdeling.



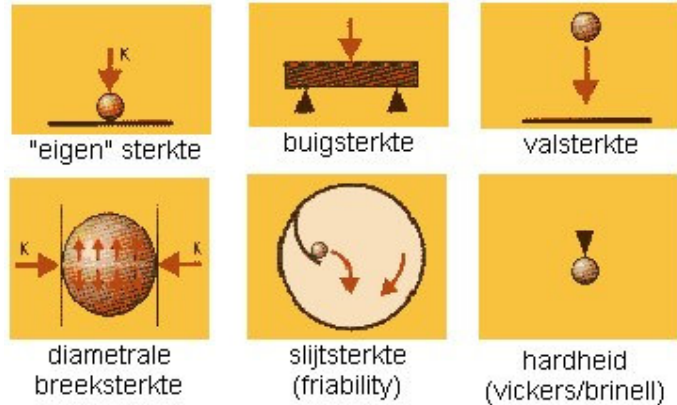
Door de verdelingen op speciaal papier uit te zetten, ontstaat een rechte lijn. Het voordeel van het weergegeven van totale verdelingen is dat de afwijkingen in het proces snel en gemakkelijk kunnen worden gedetecteerd. In granulatieprocessen zal veelal de log-normale verdeling worden gehanteerd; bij malen een RRS-verdeling. Om de vorm van de deeltjes te karakteriseren, zijn nogal wat vormfactoren bedacht. Met image-analysis kan onder andere de lengte/breedteverhouding worden gemeten, maar vaak is het handig om te kijken hoe de uitkomsten van twee verschillende technieken zich tot elkaar verhouden, bijvoorbeeld zeven en windziften.

Method	Bereik [μ]	Soort Diameter	Meting van:
Zeven	30 - 4000	d(A)	massa
Microscopie, incl. image analysis	1 - 150	d(P), ea	aantal
Elektronenmicroscopie	10E-3 - 5	d(P), ea	aantal
Bezinken, Andreasen pipet, X-stralen absorptie	2 - 100	d(St)	massa
Sedimentatie balans	20 -5000	d(F)	massa
Sedimentatie met centrifuge	10E-2 - 5	s(St)	massa
Coultercounter	0.3 - 1000	d(v)	aantal
Light-scattering	0.3 - 100	d(p)	aantal
Laserdiffractie	1- 2000 0.3 - 40 (Mie)	d(l)	volume

Tabel 1 Meetmethoden voor deeltjesgrootte

Deeltjessterkte

Voor de meting van de sterkte van deeltjes is een groot aantal methoden beschikbaar. Het nadeel van de meting van enkel deeltjes is dat veel deeltjes moeten worden gemeten om een gemiddelde deeltjessterkte te vinden. De bepaling is tijdrovend. Anderzijds heeft de meting van een verzameling deeltjes (zoals dat bijvoorbeeld in de mengvoederindustrie gebeurt) het nadeel dat juist de spreiding onbekend blijft. Verwarrend is dat bij sommige meetmethoden niet de sterkte of trekspanning wordt gemeten, maar de 'friability'. Dit is de hoeveelheid materiaal die na een aantal keren botsen of vallen van het oorspronkelijke deeltje is verdwenen. Een essentiële factor bij de bepaling van de sterkte is de deformatiesnelheid. Diverse materialen (zoals kunststoffen) blijken sterker te zijn naarmate de deformatiesnelheid groter is. Dit betekent dat de sterkte moet worden gemeten bij de deformatiesnelheid die past bij het proces waarin de deeltjes zich bevinden.



Stortgewicht

Behalve de deeltjesgrootte is ook het stortgewicht of de stordichtheid van de deeltjes van groot belang. Het stortgewicht van een verzameling deeltjes is het gewicht gedeeld door het ingenomen totaalvolume, waarbij de porositeit e is inbegrepen:

$$\rho_B = \rho_s (1 - e)$$

waarbij ρ_B het stortgewicht voorstelt en ρ_s de 'ware' dichtheid; het gewicht van de vaste stof gedeeld door het volume van de deeltjes alleen. Als we te maken hebben met poreuze granules of deeltjes wordt dit:

$$\rho_B = \rho_s (1 - e_{bed}) (1 - e_{granule})$$

Voor gewone stapelingen geldt een bedporositeit van e_{bed} ongeveer 0.4. Als de granuleporositeit ook ongeveer zo'n waarde heeft, leidt dit tot een erg laag stortgewicht. De bekendste methode voor de meting van het stortgewicht is die waarbij in een maatcilinder het gewicht van een (standaard)volume wordt gemeten. Het bezwaar is dat de cilinder nogal nauw is en soms moeilijk te vullen (bijvoorbeeld met vezelig materiaal). Bovendien blijkt het stortgewicht nogal eens een functie van de vulwijze. Daarom zijn er methoden ontwikkeld waarbij een vaatje wordt gevuld op een standaard manier. Met dezelfde methode meet men ook de 'tap density' ρ_t . Dit is het stortgewicht van een poeder na trilling. Hiertoe wordt de maatcilinder 1250 maal gedefinieerd getikt, waarna de stordichtheid wordt gemeten. Door de tap density door het stortgewicht te delen, ontstaat de Hausner Ratio:

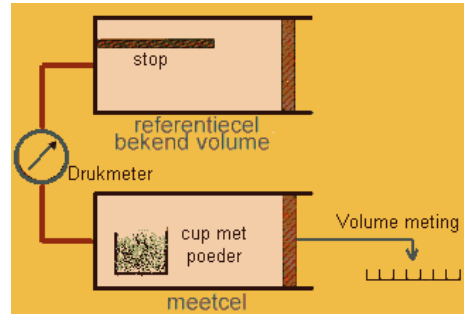
$$HR = \rho_t / \rho_B$$

Deze verhouding kan worden gebruikt voor de indeling van poeders, waarbij een $HR > 1,4$ een cohesief poeder en een $HR < 1,25$ een vrijstromend poeder aanduidt. Bij $1,25 < HR < 1,4$ is sprake van een overgangsgebied. Het stortgewicht zegt iets over het volume dat een hoeveelheid stortgoed inneemt in rust. De tap density zegt iets over het volume van een hoeveelheid poeder na trilling. De uitkomsten zijn een functie van de manier waarop zij bepaald zijn. Er moet dus altijd op worden gegeven hoe dit is gedaan.

Pyknometer

Voor het bepalen van de 'ware' dichtheid ρ_s zijn diverse methoden beschikbaar, waarvan de Beckmann Air Comparison pyknometer en de gewone kwikpyknometer de bekendste zijn.

De Beckmann pyknometer bestaat uit twee cilinders. Een van de cilinders wordt gevuld met een afgemeten hoeveelheid deeltjes. Beide cilinders worden op een druk van twee atmosfeer gebracht door ze te verkleinen. Door de cilinderverkleiningen met elkaar te vergelijken (de lege cilinder is het kleinst), vindt men het volume van de ingebrachte deeltjes.



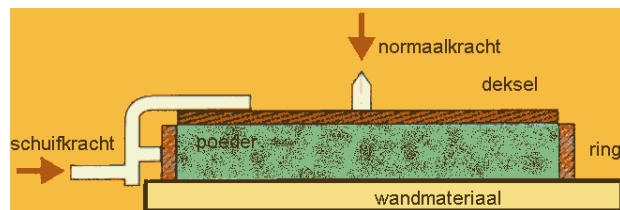
Het voordeel van de kwikpyknometer is dat bij meting onder druk (intrusie) een indruk over de poriegrootte kan worden verkregen. Een variant op de vloeistof- of kwikpyknometer is de onderdompeling van (relatief grote) deeltjes in een bed van een free-flowing poeder met een bekend stortgewicht. De volumevergroting is dan het volume van de grote deeltjes. Een alternatief is de dichtheidskolom. Deze bestaat uit een kolom vloeistof met een dichtheidsgradient. Door voorzichtig korrels in te brengen, gaan deze zweven op de hoogte die correspondeert met hun dichtheid. Deze methode is erg nauwkeurig. Opgemerkt moet worden dat de dichtheid wordt bepaald alsof een deeltje massief is. Een holte in een deeltje leidt tot een lagere dichtheid. Of in een pyknometer en dichtheidskolom ook uitwendige, kleine poriën worden bepaald, hangt onder meer af van de toegepaste druk.

Lage Transportsnelheid

De stromingseigenschappen van poeders zijn een functie van de bewerking die ze ondergaan. Bij een lage transportsnelheid zal de wrijving tussen de deeltjes een belangrijke rol spelen. De stroming vindt plaats door het bezwijken van het poeder. De mate waarin en het gemak waarmee, noemen we het loopgedrag ofwel flowability. De schuifspanning is in deze situatie een functie van de normaalspanning, niet van de snelheid. Bij een hoge transportsnelheid echter vindt hoofdzakelijk botsing van deeltjes plaats en kunnen we spreken van een suspensiestroming (in lucht) ofwel geaireerde systemen. De schuifspanning is hier een functie van de snelheid, niet van de normaalspanning. Hieronder wordt gesproken over de karakterisering van stortgoed in lage snelheidssystemen.

Wandwrijving

Bij het ontwerp van opslag- en transportinstallaties speelt de wrijving van het stortgoed op de wand van de apparatuur een belangrijke rol. De eenvoudigste methode om deze wandwrijving te bepalen, is door een hoeveelheid stortgoed op een plaat van het wandmateriaal te plaatsen en vervolgens te meten onder welke hoek het stortgoed van de plaat afschuift. Een beter resultaat verkrijgt men met behulp van een shearcel. Hierbij schuift men een plaatje wandmateriaal van het poeder af, waarbij de kracht die hiervoor nodig is nauwkeurig wordt gemeten. Veelal houdt de wandwrijving verband met het loopgedrag van het stortgoed. Vooral de vorm van de deeltjes blijkt belangrijk te zijn. Langwerpige deeltjes glijden meer dan dat ze rollen, waardoor ze aanleiding geven tot een hoger wandwrijving dan bolvormige deeltjes.



Shear cells

	veel gebruikt in industrie	yield locus/flowability	tijds-invloed	reproduceerbaarheid	standaard procedure	expertise nodig	snelle meting
Jenike cel	ja	ja	ja	matig	ja 1)	ja	nee
Ringshearcel	ja	ja	moeilijk	matig	nee	ja	matig
Peschlcel	matig	ja	moeilijk	matig	ja *)	weinig	ja
Triaxiaal cel	nee	ja	moeilijk	matig	ja 2)	ja	nee

*) automatische procedure, inclusief software

1) Standard Shear Testing Technique, Inst. of Chem. Engrs. 1989 2) ASTM D2850-87

Caking

Caking is het ongewenste agglomereren van deeltjes waardoor een poeder niet meer wil stromen. Bekende voorbeelden zijn vochtig zout of suiker. Caking kan ook ontstaan door de kristallisatie van zouten tussen deeltjes of door kruip (plastische deformatie) van de deeltjes in de tijd. De meest geschikte methoden om caking te meten, zijn gebaseerd op het afschuiven van poeder op poeder, zoals dat in een shearcel plaatsvindt. In principe gaat om een soort 'sterkte'-meting. Bij caking speelt tijdconsolidatie een belangrijke rol. Hoe langer een poeder staat, hoe sterker het is.

Comprimeerbaarheid

De comprimeerbaarheid van een poeder is van belang voor de vorming van een granule, extrudaat of tablet. De comprimeerbaarheid behelst in principe de porositeit (of relatieve dichtheid) als functie van de druk. De meting is eenvoudig: in een cilinder met poeder meet men de volumeverkleining wanneer via een zuiger druk op het poeder wordt uitgeoefend. De resultaten kunnen verschillend worden weergegeven. Bekend is de 'Heckel plot' die veel wordt gebruikt bij tableteren. Johanson heeft voor de relatie tussen relatieve dichtheid (1-e) en de druk sigma de 'compressibility factor K' ingevoerd:

$$K = \ln \sigma / \Delta \ln(1-e)$$

De compressibility factor K wordt met name bij walsprocessen toegepast. Bij doseerprocessen is vooral het eerste deel van de dichtheid/drukcurve van belang. Bij gravimetrisch doseren is het noodzakelijk dat de voeding van het eigenlijke doseerapparaat ongeveer een constant stortgewicht heeft en niet te afhankelijk is van de optredende druk.

Hoge Transportsnelheid

Bij de bespreking van bovengenoemde eigenschappen is uitgegaan van poeders die langzaam stromen. Voorbeelden zijn opslag in silo's, sommige vormen van mechanisch transport en granuleren op schotels. De porositeit in deze processen is relatief laag. Anders wordt het als poeders snel stromen, zoals fluidisatie, in standpipes, fluid bed reactoren, pennenmolens en snelmengers. In al die gevallen is de porositeit van het poeder groter dan wanneer het (bijna) in rust is. Bij snel stromend poeder is geen sprake meer van bezwijken maar van deeltjes die op elkaar botsen. Bij hoge transportsnelheden zijn daarom andere methoden nodig om stortgoed te karakteriseren.

Fluidisatie

Fluidisatie is een bewerking waarbij door een poederbed een gasstroom wordt geblazen. Het poederbed verandert hierdoor van een vast bed in een soort luchtsuspensie die zich gedraagt als een vloeistof. Bij deze verandering kan het poeder een groter volume gaan innemen (expansie), afhankelijk van de deeltjesdiameter. Enkele grootheden die als functie van de luchtsnelheid kunnen worden gemeten, zijn de druk, de expansie en de 'collapse'. De laatste grootheid betreft het inzakken van het bed als de toevoerluchstroom wordt afgesloten. Aan de hand van deze metingen kan onderscheid worden gemaakt tussen vrijstromende, cohesieve en airatable poeders. Bekend is hierbij de fluidisatie index FI: de verhouding tussen de gemeten drukval en de theoretische. Deze theoretische drukval is:

$$\Delta P = \rho(s)(1 - e_{mf})$$

waarin $\rho(s)$ de 'ware' dichtheid is en e_{mf} de porositeit bij minimum fluidisatie. Deze is weer iets groter dan die bij beweging, want dan bewegen de deeltjes zich vrij. Als de deeltjes aan elkaar plakken, zal de lucht zich via kanalen door het bed een weg moeten banen. De drukval is dan onregelmatig en meestal lager dan bij losse deeltjes. Dit wordt uitgedrukt met de fluidisatie index FI:

$$FI = \frac{\Delta P_{\text{gemeten}}}{\Delta P_{\text{ideaal}}}$$

Is de fluidisatie index FI kleiner dan een, dan is sprake van cohesief gedrag.

Permeabiliteit

Interessant is ook de permeabiliteit van het poederbed; dit is de verhouding tussen de luchtsnelheid en de bedweerstand (een functie van de porositeit). De permeabiliteit volgt direct uit de druk/snelheidscurve. De bepaling is simpel, maar niet eenvoudig reproduceerbaar. Eerst moet het poeder worden gefluidiseerd om een relatief losse (en reproduceerbare) pakking te verkrijgen. Vervolgens moet de luchtstroming voorzichtig worden verminderd waarbij de drukval voortdurend wordt gemeten.

Expansie en Collapse

Het luchttopnemend vermogen van een poeder volgt direct uit de expansie metingen, onmiddellijk na het minimum fluidisatiepunt. Een grote expansie betekent een groot vermogen om lucht op te nemen. Van groot belang bij de airatable poeders is de air-retentie; het vermogen om lucht vast te houden. Deze eigenschap bepaalt men met de collapse-proef. Dit kan op simpele wijze gebeuren door een flesje poeder krachtig te schudden en vervolgens te meten hoe lang het duurt voordat het poeder volledig is ingezakt. Duurt dit langer dan tien seconden, dan is de kans groot dat het poeder 'flooding'-verschijnselen kan vertonen. Kleine deeltjes (tot 50 μ) vertonen een cohesief karakter. Deeltjes tussen 50 en 200 μ vormen een airatable poeder en grotere deeltjes zijn vrijstromend. Geldart heeft dit, met een grote spreiding overigens, in een dichtheid/diameterrelatie vastgelegd.

Kantelbed

De kwaliteit van een poeder kan onder meer worden getoetst aan de viscositeit van het fluid bed en de vorm van de taludhoek. Rietma heeft een kantelbed ontwikkeld, waarbij een laagje poeder (gedeeltelijk) wordt gefluidiseerd. Het fluid bed wordt vervolgens gekanteld tot de laag poeder begint af te schuiven. In principe wordt hier een vorm van cohesiespanning gemeten. Deze methode wordt niet veel toegepast (Powder Techn. 18(1977) 239-248). Een directe methode om de stromingseigenschappen te meten, is om een fluid bed leeg te laten lopen door een gat in de wand. De massastroom is een maat voor het loopgedrag. Cohesief materiaal zal een laag debiet geven. Deze karakteristieke grootheden worden vooral toegepast bij het ontwerp van pneumatische transportsystemen en mengers.

Verband

Het blijkt soms moeilijk een verband te vinden tussen de diverse eigenschappen van poeders. Materialen die volgens de meting van de taludhoek vrijstromend zouden moeten zijn, zouden volgens andere metingen een cohesief karakter moeten hebben. Evenmin is er altijd een sterk verband tussen de eigenschappen die worden gevonden bij snelle stroming en die bij langzame stromingen (bezwijken). Het blijft dus oppassen.

Segregatie

Segregatie of ontmenging is een lastig verschijnsel dat optreedt als verschillende soorten deeltjes ten opzichte van elkaar vrij kunnen bewegen. Het verschijnsel kan worden vastgesteld met behulp van een hellende, roterende trommel. Bovenin verzamelen zich de grove deeltjes, onderin de 'fines'. Het blijkt dat kleine verschillen in deeltjesgrootte (-10%) al aanleiding geven tot segregatie. Kennis van het segregatiegedrag van een poeder is vooral van belang bij de keus van een menger.

Attritie

Attritie is het ongewenst breken van deeltjes. hierbij treden twee verschijnselen op: fragmentatie en abrasie. Bij fragmentatie breken de deeltjes in tweeën; bij abrasie breken of slijten de hoekjes en randjes van de deeltjes. Het optreden van attritie wordt zichtbaar in de deeltjesgrootteverdeling, het stortgewicht en het specifiek oppervlak van een poeder of granulaat. Het verschijnsel kan worden gemeten met veel technieken. Het verdient echter de aanbeveling om de techniek te kiezen die aansluit bij de krachten en deformatiesnelheden, die de deeltjes in het proces ondervinden. In principe zijn er twee soorten testmethoden: impact- en compressietechnieken. Bij impacttechnieken wordt de breuk door botsing veroorzaakt. Bij compressie -of shear-technieken treedt breuk op door druk of afschuiven. De slijtvastheid van een granulaat wordt meestal vastgesteld aan de hand van de hoeveelheid afgebroken materiaal die bij een proef overblijft ten opzichte van de oorspronkelijke hoeveelheid materiaal. Zoals te verwachten is, bestaat een relatie tussen de slijtvastheid of friability enerzijds en de sterkte anderzijds. Overigens speelt de vorm van de deeltjes een essentiële rol. Ronde deeltjes geven minder slijtage of attritie dan niet ronde.

	veel gebruikt in industrie	meting van	tijdsinvloed	reproduceerbaarheid	standaard procedure	weinig expertise nodig	snelle meting
fluidiseerbaarheid	ja	min. fluïdisatie snelheid	in principe	redelijk	nee	nee	ja
permeabiliteit	ja	drukval	idem	goed	nee	nee	ja
fluïdisatie index	nee	drukval/gewicht	idem		nee	nee	ja
lucht opnemend vermogen	nee	expansie	idem	redelijk	nee	nee	ja
luchtretentie	nee	inzaktijd	nee	goed	nee	ja/nee	ja/nee
pseudoviscositeit	ja	weerstand (cohesie)	nee	redelijk	nee	ja	ja
kantelbed taludhoek	nee	cohesie	in principe	slecht	nee	nee	nee
uitstroming	redelijk	flowability	idem	goed	nee	ja	ja

Tabel 3: Overzicht van enkele metingen voor poeders bij hoge snelheid

Andere Eigenschappen

Voor iedere eigenschap van een poeder is wel een methode ontwikkeld, vaak afhankelijk van de toepassing van het poeder. Het aantal meettechnieken loopt in de honderden en ze zijn vaak zeer specifiek. Zo zijn er diverse methoden ontwikkeld om het stuifgedrag van poeders te bepalen. Pogingen om deze eigenschap te correleren met bijvoorbeeld de deeltjesgrootte zijn lastig. Zo kunnen cohesieve poeders wel fijn zijn, maar niet stuiven. Enkele andere eigenschappen die met name bij de instantpoeders van belang kunnen zijn, betreffen de uiteenvaltijd en vooral de bevochtigbaarheid.

Bevochtigbaarheid

De bevochtigbaarheid of wettability baseert zich op de bevochtiging van een capillair. Via de capillaire onderdruk en de weerstand tegen stroming (laminair) komt men tot een stijgsnelheid. Na een eenvoudige integratie volgt dan de bevochtigingstijd. Bij stortgoed of een verzameling deeltjes kan men de ruimte tussen de deeltjes beschrijven als kronkelige capillairen. De viscositeit en de oppervlaktespanning spelen een belangrijke rol. De eenvoudigste techniek om de bevochtigbaarheid te meten betreft een cilinder met een gaasje aan de onderzijde. De cilinder wordt met een poeder gevuld en met de onderzijde in een vloeistof geplaatst. De gewichtstoename als functie van de tijd geeft een indruk van de snelheid van bevochtiging.

Literatuur

- * L. Swarovski; Powder Testing Guide; Elsevier Applied Sci, London, 1987; ISBN 1-85 166-137-9
- * N.G. Stanly-Wood; Enlargement and compaction of Particulate Solids; Butterworths, London, 1983; ISBN 0-408-10708-1
- * M. Rhodes; Principles of Powder Technology; J. Wiley and Sons, Chishester, 1990; ISBN 0471-92422-9
- * C.R. Woodcock, J.S. Mason; Bulk Solids Handling; Leonard Hill, Glasgow, 1987; ISBN 0-412-01251-0
- * W.Pietsch; Size Enlargement by Agglomeration; J.Wiley and Sons - Chichester 1991; ISBN 0471-92991-3