

A SZEMCSE ALAK ALAPJÁN TÖRTÉNŐ SZÉTVÁLASZTÁS JELENTŐSÉGE FÉMTARTALMÚ HULLADÉKOK FELDOLGOZÁSA SORÁN

Dr. Gombkötő Imre

PhD; egyetemi adjunktus

Miskolci Egyetem, Nyersanyagelőkészítési és Környezeti Eljárástechnikai Intézet

1. BEVEZETÉS

A fémeket tartalmazó hulladékok rendszerint tartalmaznak elektromos vezetékeket, kábeleket. Ezek mennyisége sok esetben nem olyan nagy az adott hulladékban, hogy külön kerüljenek kiszérésre és feldolgozásra, ekkor az elektronikai hulladék előkészítésekor kell gondoskodni a kábelek leválasztásáról. A kábel-leválasztás eredményességére azonban hatással az a tény, hogy alakjuk nagymértékben eltér az aprított elektronikai hulladékhalmazt alkotó, többségében kubikus és lemezes szemcsék alakjától. Ezért az első lépcsőben aprított elektronikai hulladék-töretből, e durvább szemcsetartományban (>3...5 mm) alkalmas eljárásokkal - örvényáramú szeparátorra, légszérrel és légáramkészülékkel történő szeparálás - a fizikai feltáratlanság és a kábelszemcse, kábeldarabka ill. drótszálak alakja miatt a leválasztásuk nem eredményes. Ugyanakkor éppen a drótszálak, kábelszemcsék, kábeldarabkák sajátos alakja kínál lehetőséget leválasztásukra valamely alak szerinti szétválasztási eljárás alkalmazásával.

2. AZ ALAK HATÁSA AZ EGYES SZÉTVÁLASZTÁSI ELJÁRÁSOKRA

A kábel-szemcsék alakja és összetétele – tiszta Al- vagy Cu-drótszál, tiszta üreges szigetelőhenger, a szigetelőhengert fémvezetővel valamely arányban kitöltő kábeldarabka, a drótszálat valamely arányban szigeteléssel fedő kábeldarabka stb., s mindezek mellett az elsődleges alakon, az egyenes szálon túl rendelkezhetnek valamilyen másodlagos formával, mint gombolyag, kvázi-gömb, U-forma, S-forma stb.- változatos szemcse- és halmazsűrűséget eredményez. Ehhez társul az előkészítés során mutatkozó látszólagos szemcsesűrűség, amely a szemcsét alkotó összetevő anyagi sűrűségétől jelentősen különbözhet: például az üreges szemcsék esetében, nehézkes szétválasztás alkalmazásakor a nehezítő anyag kiülepedhet a kábel-szemcse üregeiben, megnövelve azzal a szemcsesűrűségét. Hasonló helyzettel találkozunk egyes hidrofób szemcsék nedves közegben történő szétválasztási eljárásának kivitelezésekor, amikor a szemcsék üregeibe levegő buborékok kerülnek, és ezáltal a szemcsesűrűség – habár látszólagosan - jelentősen csökkenthet. Áramkészülékek esetén ahol a szemcsék süllyedési sebessége nagymértékben függ a szemcsék alakjától, csak akkor remélhetjük a sűrűség szerint szétválasztás megfelelő jóságát, ha a szétválasztandó szemcsék alakja is közel azonos.

Örvényáramú szeparálás során a szemcsére nézve időben változó mágneses tér örvényáramokat indukálunk elektromos vezető szemcsékben. A szemcsék örvényárama olyan saját

mágneses mezőt hoz létre, amely taszítja az őt létrehozó mágneses teret. A fellépő taszító erő a vezetőképességnek, szemcsetérfogatnak, **a szemcse alaknak** és a mágneses térben való térbeli elhelyezkedésének is függvénye. Amikor pedig a nem-vas fémek egymástól történő elválasztása a célunk, a szemcsék alakjának döntő fontosságú szerepe van. Az automata válogató berendezésekben az egyes szemcsék felismerése érdekében különböző szenzorokat (optikai kamerák, elektro-mágneses érzékelők, röntgen szenzorok, stb...) és a szenzorok által küldött adatokat feldolgozó algoritmusokat alkalmaznak. A kamerák által megadott képek alapján az egyes szemcsék alaktényezője meghatározható. Az alaktényező és az egyes szenzorok által az adott szemcséhez rendelt egyéb változók (szín, érdesség, visszaverődés mértéke, stb...) adják a felismerés és a szétválasztás alapját. Különleges alakú szemcsék esetén a felismerés hibás eredményre vezethet.

3. ALAK ALAPJÁN TÖRTÉNŐ SZÉTVÁLASZTÁSI ELJÁRÁSOK

Az egyes szemcsehalmazok alkotóinak szétválasztásakor ebben az esetben az eltérő alakból adódó különböző tulajdonságokat használunk ki:

- eltérő süllyedési sebesség, felületen való mozgáskor jelentkező eltérő (gördülő vagy tapadó) súrlódó erő, felülettel történő ütközéskor fellépő eltérő deformáció, viselkedés különböző nyílás-alakú szemi-permeábilis felületen és változó mágneses térben stb..

A fentiek alapján a gyakorlatban elterjedten alkalmazott eljárások: a **gurulóképesség szerinti szeparálás**, ahol egy lejtőn leguruló szemcse lényegesen nagyobb sebességgel tud mozogni, mint azok a szemcsék, amelyek csúsznak, mivel ebben az esetben a fellépő nagyobb súrlódási erő jelentősen lassíthatja ez utóbbi szemcsék mozgását.

Egy szemcse vastagsági (legkisebb) mérete általában meghatározza, hogy egy résnyíláson **áthalad-e** vagy sem, a négyzetes nyíláson a középső méret a meghatározó. Minél több irányultságában képes áthaladni, az áthaladás várható ideje úgy csökken. Ezáltal a szítálás kinetikájával, a szítanyílások alakjával ez alapján befolyásolható. Egyes eljárások azt használják ki, hogy anyagminőségtől függően, a szemcsealak és a szemcsék sebességének függvényében egy felülettel történő **ütközéskor (becsapódáskor)** eltérő deformálódnak a szemcsék, míg más eljárások bizonyos speciális alakú szemcsék hulladékáramból történő „**kihalászását**” alkalmazzák.

NÉHÁNY GYAKORLATI PÉLDA

Részítálás. Hagyományos módja a lemezes és hosszúkás szemcsék eltávolításának, ill. a szemcsehalmaz kubikus és lemezes szemcsék halmazára bontásának, a résszíták alkalmazása. A résszíták olyan síkszíták, ahol a rések alakja nem négyzetes vagy kör/ellipszis alakú, hanem olyan téglalap alakú nyílásokkal rendelkezik, ahol a hosszirányú méret a keresztirányú mérettel szemben több 10-szeres is lehet. Az ilyen szítasíkon - egy korábban négyzetes nyílású szítalapon előállított

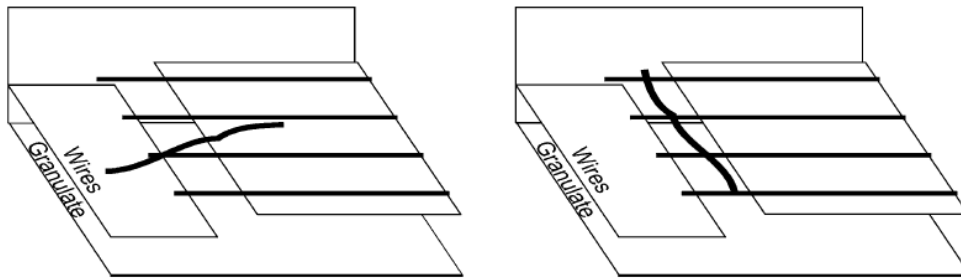
szitafrakcióból, a négyzetes nyílásméret felével egyező (vagy annál kisebb) résnyílás méret mellett - a lapos és hosszúkás szemcsék könnyen átesnek, míg a kubikus szemcsék áthaladnak a szitasíkon, és a szita durva termékébe kerülnek. Egy négyzetes nyílású szitalap felé helyezett résszita arra is alkalmas, hogy a nagyméretű lemezes szemcséktől a valódi osztályozást végző négyzetes szitalapot tehermentesítse (1.ábra)



1.ábra Kaszkád hulladékszita és sematikus rajza [IFE GmbH]

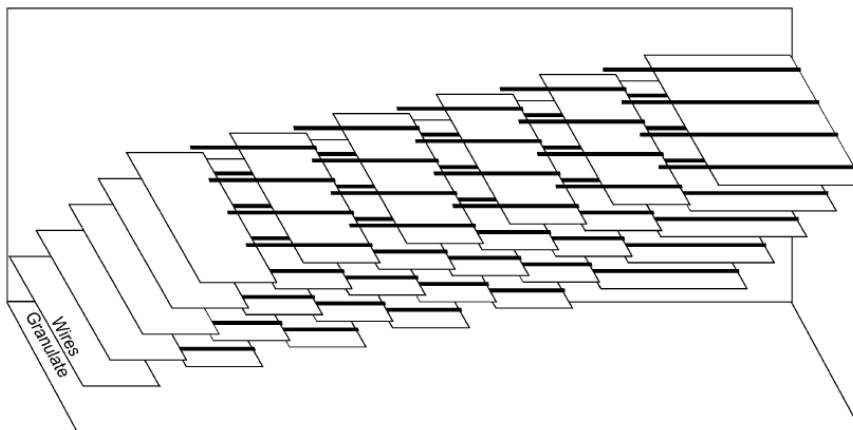
Ilyen elven működik az IFE által [IFE GmbH] kifejlesztett hulladék szita is (1.ábra), amely a nagyfelületű, lapos szemcséket, darabokat egy kvázi felső rész-szitasíkon tartja szitálás közben. Az alsó síkon a kaszkád kialakítás lehetővé teszi a helyigényéhez képest nagy osztályozó szabad szita felület kialakítását úgy, hogy a kaszkád elemeket megdöntik, és az effektív nyílásméretnél nagyobb nyílásméreteket alkalmaznak. A felső sík szintén kaszkád kialakítású résszita, amelynek révén az eltömődés valószínűsége mind az alsó, mind pedig a felső síkon nagymértékben csökken. A felső sík tüskéi/rudai gondoskodnak az anyagáram folyamatos fellazításáról és a nagy felületű, a szabad szitanyílásokat eltakaró, így a szitálás hatásfokát erősen rontó (pl. textil, fólia) darabok eltávolításáról.

Kaszád-szeperátor. Hasonló elven működik az ún. kaszkád rendszerű szeperátor, amelynek működését a 2. ábrán szemléltetjük.



2. ábra. Egylépcsős kaszkád rendszerű geometriai szeperátor

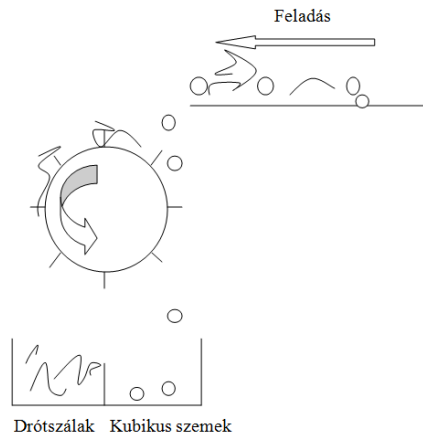
A szeperátor olyan egymással párhuzamos síkból épül fel, amelyen a szétválasztandó szemcseméret frakciónak megfelelő nyílások találhatóak, az egymás alatt elhelyezkedő síkokon eltolva egymáshoz képest.



3. ábra. Többsikú geometriai kaszkád szeperátor

Ezek a nyílásokon a hagyományos szemcsék könnyedén átesnek a drótszálak azonban alakjuk miatt akkor sem, ha hosszába, vagy keresztbe kerülnek a nyílás fölé. A nagyobb feldolgozó képesség érdekében a nyílások méretét olyan módon kell megválasztani, hogy a nem hosszúka szemcsék könnyen átesnek rajta (nem kritikus szemek $r=(1,2...1,5)x$ [mm]), azonban a drótszálak nem. A szétválasztás élességét az egymás alá elhelyezett síkok számának növelésével lehet javítani.

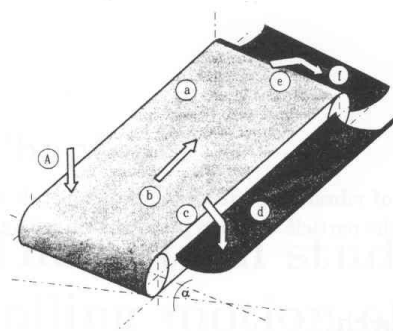
Alakszeperálás szögezett hengerrel. A geometriai tulajdonságokat kihasználó hasonló berendezés az ún. szögezett henger is. A szögezett henger felépítését a 4. ábra mutatja. Hasonló elven végtelenített szögezett szállítóheveder is alkalmazható kellően nagy dőlésszög alkalmazása mellett.



4. ábra. Szögezett henger.

A szétválasztás elvileg két módon lehetséges. Egyik módszer szerint a hengert viszonylag nagy kerületi sebességgel járattjuk, az anyagot pedig egyenáramban (a tüskék lefelé mozgásának oldalán) a dob peremnél adagoljuk a hengerre. Ekkor a nem hosszúkás (kubikus és lemezes) szemcsék viszonylag könnyen leesnek a dob mellett a szögek között, míg a drótszálakat a szögek megütik, és ez pályájukat módosítja, amelynek hatására a nem hosszúkás szemcséktől külön pályát befutva, külön gyűjthetőek. Másik módszer szerint a henger viszonylag kis kerületi sebességgel forog, az anyagot ellenáramban (a tüskék felfelé mozgásának oldalában) adjuk fel a dob pereménél. A kubikus/lemezes (de többnyire nem hosszúkás) szemcsék áthullnak a tüskék között, míg a drótszálak alakjuk miatt a tüskéken fennakadnak, majd a dob átszállítja őket a másik oldalra, ahol a dob túloldalán leesnek a dobról, ezáltal a drótszálak a tőle eltérő alakú szemcséktől külön gyűjthetőek.

Alakszeparálás szalagszérrel. Annak kihasználására, hogy az egyes szemcsék mennyire gurulóképesek vagy nem egy sík felületen, több megoldás létezik. Egy példát láthatunk az 5. ábrán [2]. Itt a szalagszér egy ferde szállítóheveder, amely két irányban is (a szalag síkjára és a mozgásirányára nézve is) döntve van, így azok a szemcsék, amelyek képesek legördülni róla, a feladást követően oldalirányba legurulnak a szállító hevederről. A lemezesen elfekvő szemcséket, darabokat pedig a szalag felfelé elszállítja.



5. ábra. Száras szalagszér [Keisi, Masami, 1992]

4. A MINTAANYAG ELŐKÉSZÍTÉSE A KÍSÉRLETI VIZSGÁLATOKHOZ

Alaki szeparálás gyakorlati alkalmazásának fontosságát demonstrálandó, laboratóriumi körülmények között elektronikai hulladékok és roncsautó shredderezéséből származó fémtartalmú hulladék-mintákat vizsgáltunk meg. A vizsgált minták jelentősebb mennyiségben tartalmaztak feltáratlan kábeldarabokat és feltárt drótszalakat, amelyek rendre elrontották a fémtermékek minőségét.

A vizsgált termékek – a kábel és drótszalak mellett - jellemzően kubikus szemcsékből állnak a tiszta fém, üveg és közet alkotók esetében, jellemzően lapos szemcsékből a műanyag alkotókat tekintve. A kábeldarabok és drótszalak esetében az átmérő hosszúság arány meghaladja az 1:10 értéket is eléri. A konvencionális dobszíták alkalmazása, ahol sikerrel lehet eltávolítani a hosszúkás szálak jelentős részét, az alak szerint elválasztás nem éles, így az eltávolított részekkel együtt jelentős mennyiségben távolítunk el kubikus szemcséket is, a síkszítákhoz hasonlóan, a dobszita hosszától, tehát a tartózkodási idő mértékétől függően megjelennek a drótszalak a finom termékben is.

A vizsgálatokhoz a rendelkezésre álló mintákat, szemcseméret négyzetes nyílású laboratóriumi szitasorozaton frakciókra bontottuk, és meghatároztuk az egyes szemcseméret frakciókban lévő drótszalak tömegarányát, valamint a drótszalak átlagos hosszát. A kapott eredményeket az 1. és 2. táblázatban foglaltuk össze [Simon, 2010].

1. táblázat: Elektronikai hulladék geometriai jellemzői

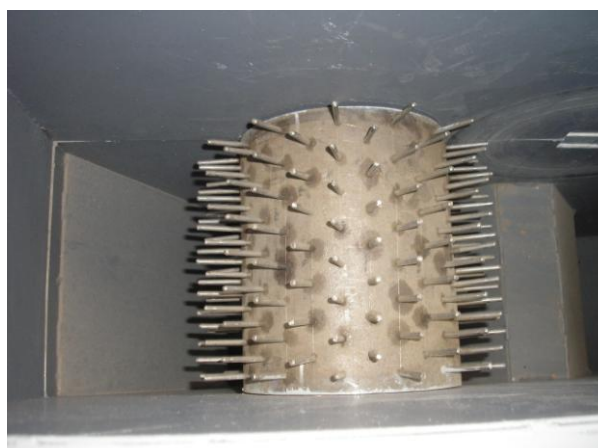
Szemcseméret frakciók [mm]	Szemcseméret eloszlás [%]	Frakcióban lévő drótszalak tömegaránya [%]	Frakcióban lévő drótszalak átlagos hossza [mm]
0 - 3,15	0	0	
3,15 - 5	2,78	17	41
5 - 8	8,59	4,8	44
8 – 10	25,03	2,3	50
10 - 12	39,06	1,5	66
12 - 16	53,57	0,4	67
16 - 20	88,15	1	92
20 - x_{\max}	98,79	0,4	100
x_{\max}	100	0	
Összesen:		1,8	

2. táblázat: Shrededrezett autóroncs geometriai jellemzői

Szemcseméret frakciók [mm]	Szemcseméret eloszlás [%]	Frakcióban lévő drótszalak tömegaránya [%]	Frakcióban lévő drótszalak átlagos hossza [mm]
0 - 3,15	0	0	
3,15 - 5	13,28	49,3	48
5 - 8	28,63	34,7	63
8 - 10	56,97	6,6	65
10 - 12	58,53	7,3	75
12 - 16	73,58	22,6	62
16 - 20	95,28	4	79
20 - x_{max}	98,23	3,2	90
x_{max}	100	4,7	117
Összesen:		6,2	

5. KÍSÉRLETI VIZSGÁLATOK SZÖGES HENGERREL

A berendezést a Nyersanyagelőléstíési és Környezeti EljárásTechnikai Intézet laboratóriumában terveztük meg. A berendezés egy 190 mm átmérőjű és 210 mm széles dob, amelyre egymástól 25 mm-re eltolt sorokban 60 mm hosszúságú szögek lettek elhelyezve. A szögek menetesek, így az egymástól számított távolságuk 25, 50, 75 és 100 mm-re állítható a feladott szemcseméret függvényében. A dob egy frekvenciaváltón keresztül táplált villanymotor hajtja, amelyek között a mechanikai kapcsolatot lánckerék biztosítja, így a dob kerületi sebessége elviekben 0 és 12 m/s között fokozatmentesen szabályozható. Az Intézetben tervezett szögezett henger a 6. ábrán látható.



6. ábra: Kísérleti szögezett henger

Mind az aprított mintákból az Intézet mágneses szeparátorával vasatlanítottuk. Az így kapott mintákat: 0 – 3,15 mm, 3,15 – 5 mm, 5 - 8 mm, 8 - 10 mm, 10 - 12 mm, 12 - 16 mm, és 16 - 20 mm szemcseméret frakciókra bontottuk laboratóriumi szítással, majd kézi válogatással kiválogattuk a drótszalakat, ill. kábeldarabokat. Korábban egyes frakciókban a drótok tömegarányát, illetve átlagos hosszát meghatároztuk. (1. és 2. táblázat) Az így kapott mintákat anyag alak-fajtánként külön-külön (a drótszalakat és a szemcsés anyagot) ellenáramban feladtuk a szöges hengerre 0,3; 0,5; 0,9 és 1,2 m/s kerületi sebesség mellett, majd a tömegkihozatalokat meghatároztuk. Mivel a szögek egymáshoz viszonyított távolságát nem változtattuk (25 mm), az eredmények alapján meghatározható az a dróthossz:szögtávolság méretarányszám, amely ahhoz szükséges, hogy az adott kerületi sebesség mellett a szemcsék nagyrészt átesnek könnyű szögek közötti résen.

A vizsgálatok az alábbi eredményre vezettek:

- Ellenáramú feladás esetén a minta-alaktípustól függetlenül a kis (elsősorban 0,3 – 0,5 m/s között) kerületi sebességek alkalmazásával lehetséges jó eredményeket elérni. Ennél nagyobb kerületi sebességek alkalmazása esetén a gép kialakításából következően a kubikus szemcsék is a drótszalak termékbe kerülnek, mivel a gyorsan forgó szögek – amelyek elhelyezése váltott soros, azaz a hézag után a következő sorban szög következik – a kubikus szemeket is kihordják.
- A 25 mm szögek közötti távolság alkalmas a 40 mm -nél hosszabb drótszalak leválasztására. Ilyen szempontból ennél nagyobb s szögek közötti távolság nem eredményes, mivel a potenciálisan jó szétválasztással kecsegtető kis kerületi sebességek mellett a nagyobb szögek közötti távolságnál a szögek közötti hézagokon a drótszalak már nagyobb valószínűséggel esnek át.
- A szétválasztás jó eredményéhez a szögek közötti távolságot úgy kell megválasztani, hogy a kubikus szemcsék x – mérete, nyolcada-tizede legyen a t - s szögek közötti távolságnak ($x \sim t/8 \dots t/10$).
- A berendezés feldolgozó képességét alapvetően nem a szögek között könnyen áteső kubikus szemcsék, hanem a drótszalak mennyisége határozza meg.
- Széles szemcsespektrummal rendelkező anyagoknál a jó eredmény eléréséhez több egymást követő henger kialakítása melletti szeparálás szükséges, ahol a legnagyobb szögtávolsággal rendelkező hengerre adjuk fel először az anyagot, majd az így kapott kubikus terméket – amely még továbbra is „szennyezett” a rövidebb drótszalakkal – adjuk fel a következő kisebb szögtávolsággal kialakított hengerre.

A tanulmány/kutató munka a TÁMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001 jelű projekt részeként – az Új Magyarország Fejlesztési Terv keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg

6. Felhasznált irodalom

- [1] IFE Aufbereitungstechnik GmbH
- [2] Keisi Gotoh, Masami Furuuchi: Shape separation of particles. Powder Technology, 1992.
- [3] Simon Szabolcs: Drótszálak fémtartalmú hulladékáramokból történő eltávolításának technológiai vizsgálata, Szakdolgozat, Miskolci Egyetem, 2010