

SZILIKÁTTUDOMÁNY

Kollerjáratok energiaigénye I.

Bányanedves agyagásványokban aprításkor ébredő csúsztatófeszültség előállításához szükséges energia- és teljesítményfelvétel meghatározása

Gömze A. László

Miskolci Egyetem, Kerámia és Szilikátmérnöki Tanszék

1. Bevezetés

Az aprítás az egyik leggyakrabban és legszélesebb körben alkalmazott technológiai művelet, mivel minden olyan esetben megkerülhetetlen, amikor szükség van valamilyen szilárd halmazállapotú alap-, segéd- vagy adalékanyag fajlagos felületének (m^2/g) növelésére. Ezt úgy érjük el, hogy adott d_1 szemcseméretű anyagból d_2 szemcseméretű anyagot vagy diszperz rendszert hozunk létre, ahol:

$$d_1 > d_2, [m] \quad (1)$$

Annak ellenére, hogy az első aprítási elmélet [1] megszületése óta eltelt mintegy 140 év alatt mind maga az elmélet [2, 3, 4, 5, 6 és 7], mind az alkalmazott technológiák és aprítógépek, illetve őrlőberendezések [8, 9, 10, 11] nagyon sokat fejlődtek, a reális anyagok aprításához szükséges energiaigény egzakt, matematikailag is igazolható meghatározása számos aprítandó anyag típusra, illetve alkalmazott technológiai berendezésre még ma sem megoldott. Ez az oka, hogy neves portekológiákkal foglalkozó szakemberek [12, 13, 14] még ma is úgynevezett „Aprítási-őrölhetőségi tényező” táblázatokat javasolnak használni a különböző anyagok aprításához, őrléséhez szükséges számított és tényleges energiaigény közötti különbség áthidalására.

Vizsgálataink szerint a számított és a tényleges értékek közötti gyakran 2-3-szoros (300%!) különbség egyik fő oka, hogy az aprítás, illetve őrlés energiaigényének meghatározásához használt aprításelméletek többsége nem veszi figyelembe:

- sem az aprítandó anyagok eltérő morfológiai felépítését; mikro- és makroszerkezetének különbözőségét – és az ebből következően eltérő mechanikai, reológiai és reomechanikai tulajdonságait;

- sem az aprítási művelet bonyolultságát – az aprítandó szemcsében nyomó, nyíró, esetleg hajlító igénybevétel egyidejű jelenlétének lehetőségét.

Jelen munka célja: anyagspecifikus és berendezés-orientált technológiai szemléletű megközelítésből kiindulva meghatározni az olyan reális anyagok, mint a képlékeny-viszkozulalmas reológiai tulajdonságú bányanedves agyagásványok görgőjáratokon – kollereken – történő aprításának tényleges technológiai energia-szükségletét.

2. Előzmények

A klasszikus, mechanikai szemléletű aprításelméletek [1, 2, 3, 4, és 5] pontosságát – megbízhatóságát – vizsgálva a *Kerámia és Szilikátmérnöki Tanszék* (Miskolci Egyetem) laboratóriumában különböző kémiai és ásványi összetételű anyagok kollerjáraton történő aprítása során azt tapasztaltuk [15], hogy az aprítás tényleges energiaigényének meghatározásához valóban célszerű a számított értékeket bizonyos aprítási/őrölhetőségi tényezőkkel (*I. táblázat*) beszorozni.

Mi azonban azt is tapasztaltuk, hogy azoknál az anyagoknál, amelyeknek a nyomófeszültséggel szembeni ellenálló képessége – azaz nyomószilárdsága (R) – lényegesen nagyobb, mint a csúsztatófeszültséggel szembeni ellenálló képessége – azaz nyírószilárdsága (τ), esetenként hajlítószilárdsága, vagyis:

$$R \gg \tau, [Pa] \quad (2)$$

A v aprítási – őrlhetőségi – tényező általában 1-nél kisebb értékre adódik, azaz:

$$v \leq 1 \quad (3)$$

Különböző anyagok aprítási/őrölhetőségi tényezője*

| Aprított anyag | „v” Aprítási/őrölhetőségi tényező |
|--------------------------|-----------------------------------|
| Márga | 0,8 – 1,0 |
| Mészke | 0,8 – 1,0 |
| Magnezit | 0,7 – 1,0 |
| Kvarc | 0,5 – 0,6 |
| Kvarcos homok | 0,6 – 0,7 |
| Zsírkő | 1,0 – 2,0 |
| Földpát | 0,8 – 0,9 |
| Száraz téglagyag | 1,0 – 1,5 |
| Nedves téglagyag | 1,5 – 2,0 |
| Búza | 0,9 – 1,2 |
| PE-polietilén granulátum | 4,5 – 6,0 |
| PE-PP regranulátum | 5,0 – 7,0 |

* Átvéve: Dr. Gömze A. László: „POROK SZEMCESZERKEZETÉNEK ELŐÁLLÍTÁSA” c. előadás [15] hallgatóknak kiadott írásos anyagából. Elhangzott: Miskolci Egyetem, 2003. február 20.

Így például az azonos mintából vett, de beáztatott búzaszemek őrölhetőségi tényezőjének értéke magasabb volt, mint száraz társaiké. Hasonló jelenséget figyelhetünk meg a kiszáritott és a bányanedves téglaiipari agyagásványoknál is. Az azonos mintából vett, de kiszáritott (a Hooke-féle mechanikai anyagmodellekhez egyre inkább közelítő!) agyagásványt lényegesen kevesebb ideig kellett őrölni azonos aprítási fok eléréséhez, mint az eredeti, képlékeny-viszkorugalmas reológiai tulajdonságú bányanedves téglagyagot, mivel az utóbbi szemcséi állandóan összetapadtak, így az aprítás hatékonysága jelentősen lecsökkent.

A bányanedves téglaiipari agyagásványok, valamint az építőanyag-ipar és a szilikátipar által használt nyersanyagok, illetve gyártott félkész és késztermékek reomechanikai tulajdonságainak vizsgálata, kutatása területén mintegy 3 évtizedes tapasztalatokkal rendelkezünk [16, 17, 18, 19, 20]. A Kerámia- és Szilikátmérnöki Tanszék megalakulásával az utóbbi 4 évben ezek a kutatások felgyorsultak, illetve kiegészültek a legkülönbözőbb anyagok külső és belső súrlódási együtthatójának komplex vizsgálatával [21, 22, 23, 24, 25].

A képlékeny-viszkoelasztikus bányanedves agyagásványok reomechanikai tulajdonságainak vizsgálata, illetve dinamikus viszkozitásának meghatározása szempontjából fenti munkák közül [17] az egyik legjelentősebb, amikor (12) kifejezésével elsőként mondja ki, hogy „... a hengerésbe behúzott agyagmassza aprításakor kialakuló dinamikus viszkozitás η_g nagysága az

$$\eta_g = a^n \eta_m, \quad [\text{Pa}\cdot\text{s}] \quad (4)$$

összefüggés szerint határozható meg, ahol:

η_m – a dinamikus viszkozitás laborberendezésen mért értéke, [Pa·s];

a – együttható, melynek értéke mályi agyagra $a = 0,5 \dots 0,6$

n – hatványkitevő”

Az n hatványkitevő értéke az:

$$n = \frac{\lg \frac{\epsilon_g}{\epsilon_m}}{\lg 2} \quad (5)$$

kifejezés szerint számítható, ahol:

ϵ_g – a megmunkáló gépen (aprítógépen) aprózódó agyagmasszában kialakuló sebességgradiens értéke, [Pa·s];

ϵ_m – az agyagmassza sebességgradiense a mérőműszer mérőfejében (például Haake rotoviszkon), [Pa·s].

A (4) és (5) kifejezések a kollerjártatokon történő aprítás – őrlés – technológiai energiaigényének meghatározásánál is jól alkalmazhatók a kollerjártat görgői alatti részben aprózódó agyagásvány dinamikus viszkozitásának számításához. A kollerjártatok palástjának az aprítandó szemcsék felületén történő megcsúszáskor [26] keletkező külső súrlódási együttható (μ) értékének meghatározására a Kerámia- és Szilikátmérnöki Tanszék (Miskolci Egyetem) munkatársai által kifejlesztett készüléket [27] célszerű használni, mivel a berendezésen a súrlódási együttható értékei az alábbi paraméterek függvényében határozhatók meg [28]:

$$\mu = f(d, K, p, Q, R, v, W) \quad (6)$$

A (6) kifejezésben használt jelölések:

d – a vizsgált anyag szemcsemérete, [m];

K – a kollerjártat palástjának anyaga;

p – a súrlódó felületre ható nyomás nagysága, [Pa];

Q – a vizsgált anyag kémiai/ásványi összetétele;

R – a kollerjártat palástfelületének érdessége, [m];

v – a súrlódási (csúszási) sebesség, [m/s];

W – a vizsgált anyag (például bányanedves agyagásvány) nedvességtartalma.

A számítástechnikai háttérfeltételeket tekintve ma már szinte kivétel nélkül minden aprítást, őrlést végző munkahelyen található olyan kapacitású számítógép, amellyel a képlékeny viszkoelasztikus anyagok kollerjártatokon történő aprításának energiaigénye könnyen kiszámítható – bármennyire összetettek és bonyolultak is legyenek a számítás alapjául szolgáló matematikai összefüggések, kifejezések. Előfordulhat azonban, hogy az adott vállalkozás vagy munkahely nem rendelkezik a számítások végrehajtásához és az elemzések elvégzéséhez szükséges MATHCAD – vagy más – programmal.

3. A bányanedves agyagásványban kollerjáraton történő aprításkor ébredő csúsztatófeszültség meghatározása

A fémekkel ellentétben a szilárd halmazállapotú ásványok és szilikátipari alap-, segéd- és adalékanyagok döntő többségének nyomószilárdsága többszöröse a nyíró- és hajlítószilárdságnak. Ebből adódóan ezen anyagok leghatékonyabban nyíró – esetleg hajlító – igénybevételnek kitéve aprózódnak. Ez egyben azt is jelenti, hogy ezen anyagok V térfogatának aprításához szükséges energiagigény nem vezethető le a Hooke-törvényből, és nem adható meg a Kirpicsev és Kick által javasolt alábbi összefüggéssel:

$$W = \frac{\sigma^2 V}{2E}, \quad [\text{Nm}]; \quad (7)$$

ahol:

- σ – a vizsgált anyag törőszilárdsága, Pa;
- E – a vizsgált anyag elsőrendű vagy Young-féle rugalmassági modulusa, Pa.

Ugyanakkor a kerámia- és szilikátipari alap-, segéd- és adalékanyagok, valamint félkész és késztermékek többsége hatékonyan aprítható – őrlhető – összetett mechanikai igénybevételnek kitéve.

A kollerjárat egy tipikusan olyan technológiai berendezés – gép –, ahol a tányér és a görgők közötti részben aprítódó szemcsék összetett mechanikai igénybevételnek – egyidejű intenzív nyírásnak és nyomásnak – vannak kitéve. Így a Biingham-féle reológiai anyagegyenlettel jellemezhető bányanedves agyagásványoknak a kollerjárat görgői alatti részben – csúsztatófeszültség nagysága a massa reológiai egyenletéből:

$$\tau = \tau_0 + \eta \frac{du}{dx}, \quad [\text{Pa}] \quad (8)$$

és elemi térfogatának mechanikai (erőtani) egyensúlyi állapotát (1. ábra) leíró

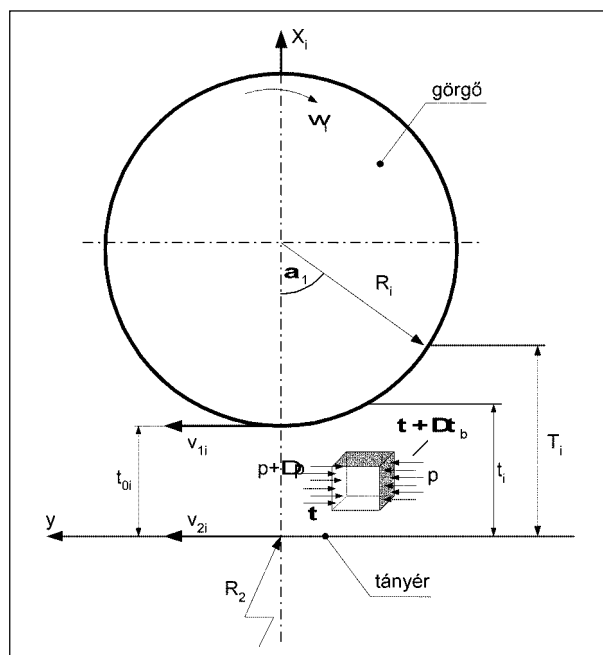
$$\frac{dp}{dy} = \frac{d\tau}{dx}, \quad [\text{Pa/m}] \quad (9)$$

összefüggésből vezethető le.

A (8) és (9) kifejezésekben használt jelölések:

- τ – a masszában deformáció közben (aprításkor) ébredő csúsztatófeszültség, Pa;
- τ_0 – az aprítódó anyag statikus folyáshatára, Pa;
- η – az aprítódó anyag (massza) viszkozitása – értéke esetünkben a dinamikus viszkozitás, Pas;

- $\frac{du}{dx}$ – az anyagban aprításkor kialakuló áramlási és deformációs sebességgradiens, 1/s;



1. ábra. A megválasztott modell görgőjératok (kollerek) méretezéséhez

- $\frac{dp}{dy}$ – az aprítódó anyagban kialakuló nyomófeszültség-gradiens, Pa/m

- $\frac{d\tau}{dx}$ – az aprítódó anyagban kialakuló csúsztató feszültség-gradiens, Pa/m.

A (8) kifejezés (9)-be történő behelyettesítésével és a kettős-integrál megoldásával a kollerjárat i -dik görgője alatti részben kialakuló áramlási és deformációs sebességviszonyokra már korábban [26] megkaptuk az:

$$u_i = 6\omega_i R_i \frac{t_i - t_{oi}}{t_i^3} (x_i^2 - t_i x_i) + \omega_i R_i, \quad [\text{m/s}] \quad (10)$$

összefüggést, ahol:

- ω_i – a kollerjárat i -edik görgőjének szögsebessége, 1/s;
- R_i – a kollerjárat i -edik görgőjének sugara, m;
- t_i – az i -edik görgő alatt éppen vizsgált résszelvény magassága (vastagsága), m;
- t_{oi} – az i -edik görgő alatti névleges résméret, m;
- x_i – az i -edik görgő alatti részben éppen vizsgált pont geometriai helyzete az x_i koordináta-tengelyen, m.

Az áramlási és deformációs sebességviszonyokat leíró (10) kifejezés X szerinti deriváltját véve és behelyettesítve (8)-ba, a kollerjárat i -dik görgője alatti részben aprítódó anyagban kialakuló (anyagra ható) csúsztatófeszültségre kapjuk, hogy:

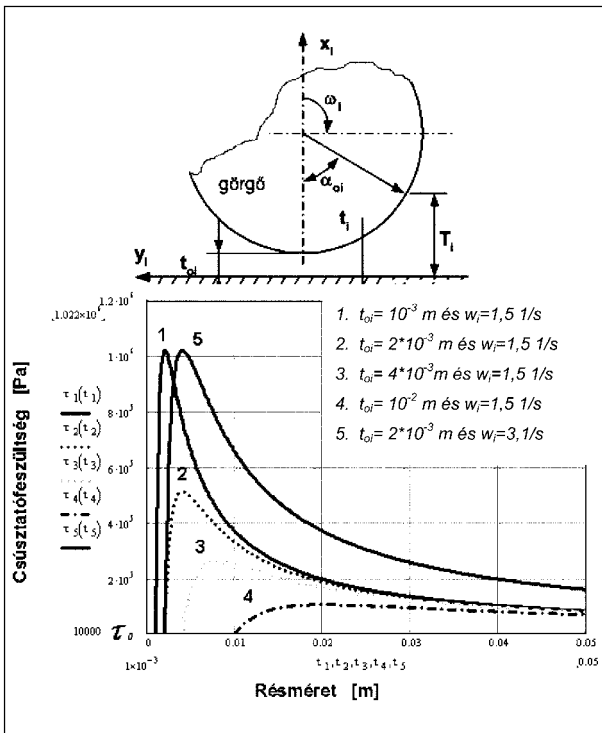
$$\tau_i = \tau_0 + 6\eta_i \omega_i R_i \frac{t_i - t_{oi}}{t_i^3} (2x_i - t_i), \quad [\text{Pa}] \quad (11)$$

A (11) összefüggésből jól látható, hogy az i -edik görgő alatti részben aprózódó anyagban (agyagásványra) ható csúsztatófeszültség nagysága az aprítódó anyag reomechanikai tulajdonságaitól – a statikus folyáshatártól és a dinamikus viszkozitástól –, a görgő geometriai méreteitől és szögsebességétől, valamint az aprítandó szemcse görgő alatti részben elfoglalt pillanatnyi geometriai helyzetétől függ.

Az i -edik görgő palástfelületénél található szemcsékben ébredő – szemcsékre ható – csúsztatófeszültség alakulását az „ Y_i ” tengely mentén a 2. ábra, míg a szemcséknek a görgő alatti részben elfoglalt pillanatnyi geometriai helyzetének függvényében, vagyis:

$$\tau = F(X_i, Y_i), \text{ [Pa]} \quad (12)$$

szerint a 3. ábra szemlélteti.

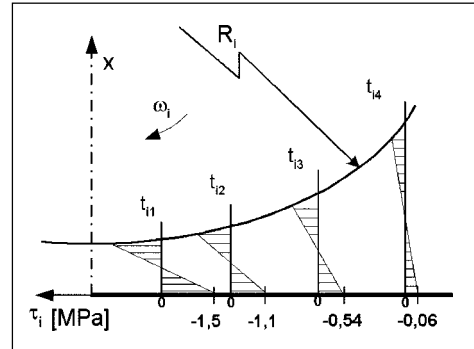


2. ábra. A KEMA 1800/S típusú kollerjártat i -edik görgője alatti részben aprítódó a görgő palástfelületétől $t/4$ távolságra lévő szemcsében ébredő csúsztatófeszültség alakulása az „ y_i ” tengely mentén, $du/dx = 1,0 \text{ s}^{-1}$ deformációs sebességgradiens esetén, ha az agyagásvány dinamikus viszkozitása $\eta_i = 10^3 \text{ Pas}$

A 2. ábrán jól látható, hogy a kollerjártat görgőjének palástfelületénél található szemcsékben ébredő τ_{ig} csúsztatófeszültség a t_{oi} névleges rész méret kivételével minden esetben nagyobb a statikus folyáshatárnál, így a görgő átfogási szögéhez tartozó T_i rész méreténél is, vagyis:

$$\tau_{ig} \Big|_{t_i=T_i}^{t_i=t_{oi}} > \tau_o, \text{ [Pa]} \quad (13)$$

A (13) kifejezésből az is következik, hogy a kollerjártat görgőinek közvetlenül a palástfelületénél található bányanedves agyagásvány szemcséi már a görgők által gerjesztett csúsztatófeszültség hatására aprózódnak – függetlenül a görgők tömegétől és az általuk az aprítandó szemcsékben gerjesztett nyomófeszültségek nagyságától.



3. ábra. A kollerjártat i -edik görgője alatti részben aprítódó szemcsére ható (szemcsében ébredő) csúsztatófeszültség alakulása a szemcse részben elfoglalt geometriai helyzetétől függően, ha $\tau_o = \dots \text{Pa}$, $\eta = \dots \text{Pas}$

A 3. ábrán jól látható, hogy minden egyes résszelvény közepén – vagyis ahol:

$$2x_i = t_i, \text{ [m]} \quad (14)$$

a görgő által az aprítandó masszában gerjesztett csúsztatófeszültség értéke megegyezik a massa statikus folyáshatárának feszültségével, vagyis:

$$\tau_{im} \Big|_{2x_i=t_i} = \tau_o, \text{ [Pa]} \quad (15)$$

Ugyanakkor a görgő alatti rész „képzetes középvonala” alatti térben az aprítandó szemcsére ható nyírófeszültségek (csúsztatófeszültségek) értéke sehol sem éri el a τ_o értékét! Azaz:

$$\tau_{im} \Big|_{2x_i < t_i} = \tau_o, \text{ [Pa]} \quad (16)$$

Ebből arra következtethetünk, hogy a csúsztatófeszültség csak a görgők alatti rész „képzetes középvonala” feletti térben található szemcsék esetén az aprítás hajtóereje. Tekintettel azonban arra, hogy a kollerjártat görgőinek előrehaladásával a résznek ez a „képzetes” középvonala fokozatosan „elmozdul” $0,5 t_{oi}$ irányába; következésképpen a bányanedves agyagásványok kollerjártatokon történő aprítódásának fő oka a nyíró- vagy csúsztatófeszültség!

4. Az agyagban kollerjáraton történő aprításkor ébredő csúsztatófeszültséget biztosító erő meghatározása

Legyen a kollerjárat i -edik görgője alatti részben aprózódó agyagásványban ébredő csúsztatófeszültséget biztosító erő jele $F_{\tau i}$. Ez az erő az

$$F_{\tau i} = \int_{A_i} \tau_i dA_i, \quad [\text{N}] \quad (17)$$

integrállal határozható meg, ahol az L_i szélességű görgő palástjának elemi felülete a

$$dA_i = L_i ds_i, \quad [\text{m}^2] \quad (18)$$

összefüggés szerint írható le.

A ds_i elemi ívhossz a 4. ábra segítségével határozható meg a következők szerint:

$$ds_i = R_i d\alpha_i, \quad [\text{m}] \quad (19)$$

A (19) kifejezést (18)-ba beírva, majd az így kapott összefüggést (17)-be behelyettesítve a kollerjárat i -edik görgője alatti részben aprózódó agyagásványban ébredő csúsztatófeszültséget biztosító erőre adódik, hogy:

$$F_{\tau i} = \int_{\alpha_i=0}^{\alpha_{oi}} \tau_i L_i R_i d\alpha_i, \quad [\text{N}] \quad (20)$$

ahol: α_{oi} – az i -edik görgő átfogási (behúzási) szöge, [fok].

Mielőtt a (20)-ba τ_i helyére a (11) kifejezést beírjuk, célszerű $d\alpha_i$ „értékét” a 4. ábra segítségével meghatározni az alábbiak szerint:

$$dt_i = ds_i \cdot \sin \alpha_i = R_i \cdot \sin \alpha_i \cdot d\alpha_i, \quad [\text{m}] \quad (21)$$

ahonnan:

$$d\alpha_i = \frac{dt_i}{R_i \cdot \sin \alpha_i}, \quad [\text{fok}] \quad (22)$$

A megfelelő trigonometriai műveletek és Pythagoras-tételéből adódik, hogy:

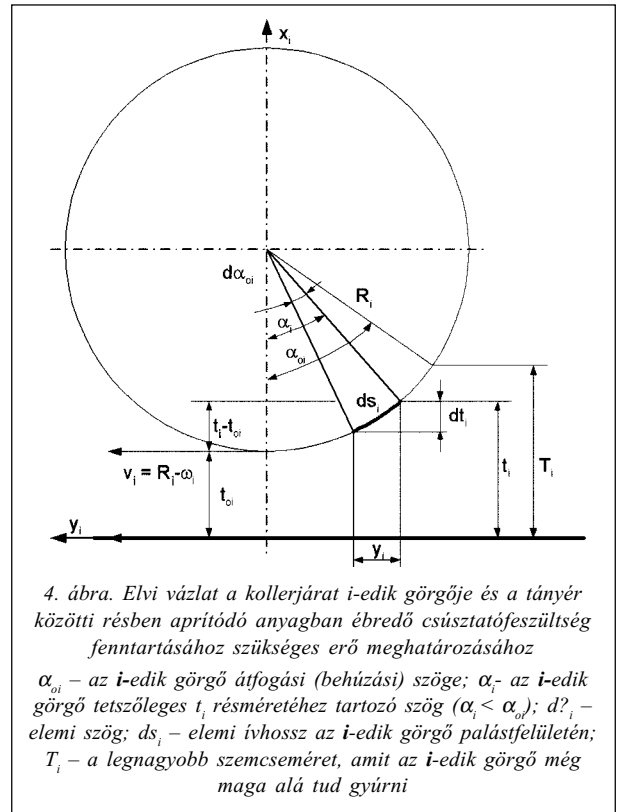
$$d\alpha_i = \frac{dt_i}{\sqrt{t_i - t_{oi}} \cdot \sqrt{2R_i - (t_i - t_{oi})}}, \quad [\text{fok}] \quad (23)$$

Tekintettel arra, hogy:

$$2R_i \gg (t_i - t_{oi}), \quad [\text{m}] \quad (24)$$

a (23) kifejezés a következő alakban is felírható:

$$d\alpha_i = \frac{dt_i}{\sqrt{t_i - t_{oi}} \cdot \sqrt{2R_i}}, \quad [\text{fok}] \quad (25)$$



A (11) és (25) kifejezések (20)-ba történő behelyettesítésével a kollerjárat *i*-edik görgője alatti részben a csúszatófeszültséget biztosító erőre az

$$F_{\tau_i} = \int_{t_i=t_{oi}}^{T_i} \left[\tau_o + 6\eta_i \omega_i R_i \frac{t_i - t_{oi}}{t_i^3} (2x_i - t_i) \right] L_i R_i \frac{dt_i}{\sqrt{t_i - t_{oi}} \cdot \sqrt{2R_i}}, \quad [\text{N}] \quad (26)$$

összefüggés adódik, ahol T_i – az átfogási szöghöz tartozó résméret.

Miután ezt az erőt a kollerjáratnak a görgő középpontjától R_i távolságra levő palástfelületen kell kifejeznie a (26) kifejezésben szereplő x_i értékére, igaz, hogy:

$$x_i = t_i, \quad [\text{m}] \quad (27)$$

így a megfelelő matematikai műveletek után (26) az alábbiak szerint írható fel:

$$F_{\tau_i} = \frac{1}{2} \cdot \tau_o L_i \sqrt{2R_i} \int_{t_i=t_{oi}}^{T_i} \frac{dt_i}{\sqrt{t_i - t_{oi}}} + 3\eta_i \omega_i L_i \sqrt{2R_i^3} \int_{t_i=t_{oi}}^{T_i} \frac{\sqrt{t_i - t_{oi}}}{t_i^2} dt_i, \quad [\text{N}] \quad (28)$$

A (28) kifejezés megoldásával a kollerjárat *i*-edik görgője alatti részben aprózódó anyagban (agyagásványban) ébredő csúszatófeszültséget biztosító erőre az:

$$F_{\tau_i} = \tau_o \cdot L_i \sqrt{2R_i} \sqrt{T_i - t_{oi}} + 3\eta_i \omega_i L_i \sqrt{2R_i^3} \frac{1}{\sqrt{t_{oi}}} \arctg \sqrt{\frac{T_i - t_{oi}}{t_{oi}}} - 3\eta_i \omega_i L_i \sqrt{2R_i^3} \frac{\sqrt{T_i - t_{oi}}}{T_i}, \quad [\text{N}] \quad (29)$$

összefüggés adódik, ahol:

- τ_o – az aprítandó képlékeny-viszkorugalmas anyag statikus folyáshatára, Pa;
- η_i – az aprítandó massa dinamikus viszkozitása a kollerjárat *i*-edik görgője alatti részben, Pas;
- ω_i – a kollerjárat *i*-edik görgőjének szögsebessége, s;
- L_i – az *i*-edik görgő palástfelületének szélessége, m;
- R_i – az *i*-edik görgő sugara, m;
- T_i – legnagyobb szemcse nagyság, vagy aprításra feladott anyag „szalagvastagsága”, m;
- t_{oi} – az *i*-edik görgő alatti rész névleges mérete (az aprított anyag szalagvastagsága a kollerjáraton *i*-edik görgőjének átgördülése után), m.

Amikor a kollerjáratra egyenletes az anyagfeladás és az aprított anyag elvétele, ideális esetben – amikor egyetlen rétegben történik az anyagfeladás és az aprítandó szemcseméret d_{ai} megegyezik a feladott „agyagszalag” vastagságával, vagyis:

$$d_{ai} = T_i, \quad [\text{m}] \quad (30)$$

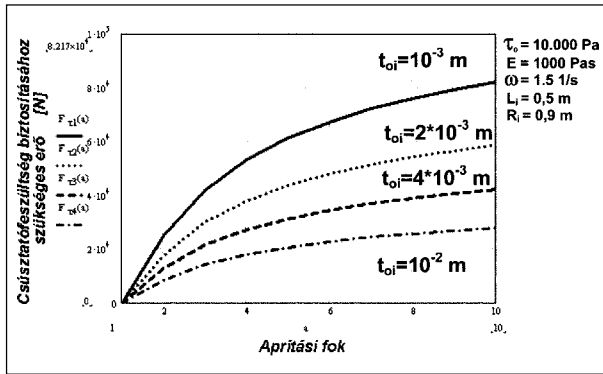
akkor az aprítási fok:

$$a = \frac{T_i}{t_{oi}} \quad (31)$$

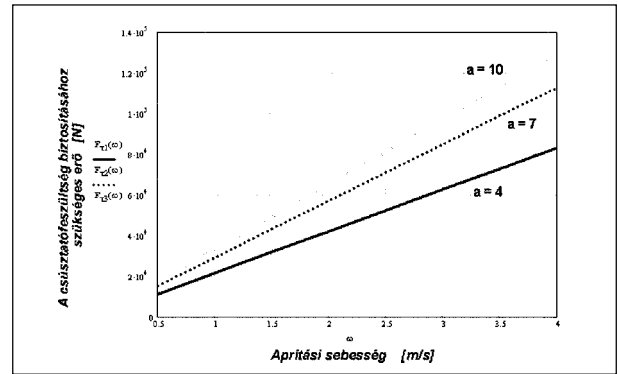
Ebben az esetben a (29) kifejezés az aprítási fok függvényében az alábbiak szerint írható át:

$$F_{\tau_i} = \tau_o L_i \sqrt{2R_i t_{oi} (a - 1)} + 3\eta_i \omega_i L_i \sqrt{\frac{2R_i^3}{t_{oi}}} \cdot \arctg \sqrt{a - 1} - 3\eta_i \omega_i L_i \sqrt{2R_i^3} \frac{\sqrt{a - 1}}{a \sqrt{t_{oi}}}, \quad [\text{N}] \quad (32)$$

A csúszatófeszültséget biztosító erőt az aprítási fok (T_i/t_{oi}) függvényében az 5. ábra, míg az aprítási sebesség (a görgő haladási sebessége $v_i = \omega_i R_i$) függvényében a 6. ábra szemlélteti.



5. ábra. A csúszatófeszültséget biztosító erő alakulása az aprítási fok függvényében



6. ábra. A csúszatófeszültséget biztosító erő alakulása az aprítási sebesség függvényében

A (29) és (32) összefüggések, valamint a belőlük szerkesztett ábrák jól mutatják, hogy a görgő és a tányér közötti résen átgúródó képlékeny-viszkoelasztikus masszában aprításkor ébredő csúszatófeszültségek biztosításához szükséges erők elsősorban:

- a bányanedves agyagásvány fikai-mechanikai tulajdonságaitól (τ_o) és reológiai paramétereitől (η_i),
- az alakítás mértékétől, az aprítási foktól (a),
- az aprítási sebességtől ($\omega_i R_i$),
- a feladott „agyagszalag” vastagságától (T_i),
- valamint a kollerjárat konstrukciós kialakításától, a görgők paramétereitől (L_i , R_i és t_{oi}) függenek.

Ugyanakkor az ábrákból az is jól látható, hogy ez az erő nem növekszik lineárisan sem az aprítási fok (a), sem az aprítási sebesség ($\omega_i R_i$) növekedésével. Ez a bányanedves agyagásványok dinamikus viszkozitásának (4) kifejezés szerinti tulajdonságaival magyarázható, mivel a bányanedves agyagásványok dinamikus viszkozitása intenzíven csökken a deformációs sebességgradiens növekedésével.

5. Az aprítást biztosító csúszatófeszültség energiaigénye és az ebből származó teljesítményszükséglet

A kollerjárat i -edik görgője által az aprítandó masszában gerjesztett – az aprítást elősegítő – csúszatófeszültségek biztosításához szükséges technológiai energiaigény mint **erő-út** szorzat határozható meg. Vagyis:

$$W_{\tau i} = F_{\tau i} R_i, \quad [\text{Nm}] \quad (33)$$

A (29) kifejezés felhasználásával az aprítást biztosító csúszatófeszültség technológiai energiaigénye az i -edik görgőn a:

$$W_{\tau i} = \tau_o L_i R_i \sqrt{2R_i} \cdot \sqrt{T_i - t_{oi}} + 3\eta_i \omega_i L_i R_i^2 \frac{\sqrt{2R_i}}{\sqrt{t_{oi}}} \cdot \arctg \sqrt{\frac{T_i - t_{oi}}{t_{oi}}} - 3\eta_i \omega_i L_i R_i^2 \sqrt{2R_i} \frac{\sqrt{T_i - t_{oi}}}{T_i}; \quad [\text{Nm}] \quad (34)$$

összefüggés alapján határozható meg.

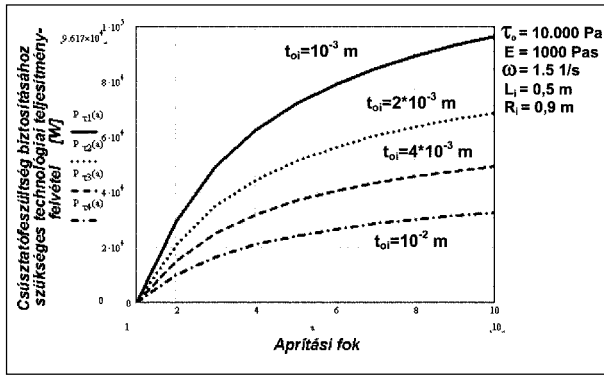
Ugyanez megadható az aprítási fok függvényében is a (32) kifejezés felhasználásával:

$$W_{\tau ia} = \tau_o L_i R_i \sqrt{2R_i t_{oi}} \cdot \sqrt{a-1} + 3\eta_i \omega_i L_i R_i^2 \frac{\sqrt{2R_i}}{\sqrt{t_{oi}}} \cdot \arctg \sqrt{a-1} - 3\eta_i \omega_i L_i R_i^2 \sqrt{2R_i} \frac{\sqrt{a-1}}{a_i \sqrt{t_{oi}}}, \quad [\text{Nm}] \quad (35)$$

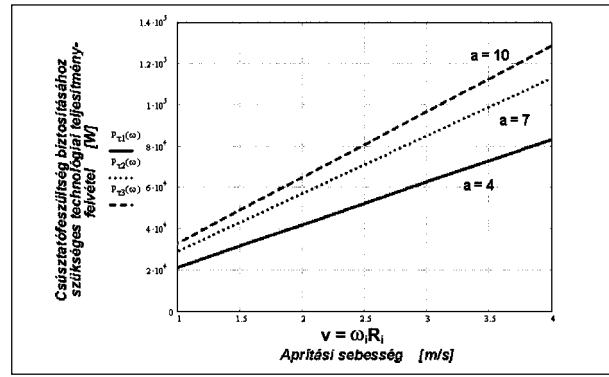
Az aprítandó anyagban (masszában) gerjesztett – az aprítást elősegítő – csúszatófeszültség biztosításához szükséges összes technológiai energiaigény a

$$W_{\tau} = \sum_{i=1}^N W_{\tau i}; \quad [\text{Nm}] \quad (36)$$

összefüggés alapján határozható meg, ahol N – a görgők száma.



7. ábra. A csúsztatófeszültség biztosításához szükséges technológiai teljesítményfelvétel az aprítási fok függvényében



8. ábra. A csúsztatófeszültség biztosításához szükséges technológiai teljesítményfelvétel az aprítási sebesség függvényében

Hasonlóan könnyű belátni azt is, hogy a kollerjárt i -edik görgője által az aprítandó masszában gerjesztett csúsztatófeszültség biztosításához szükséges technológiai teljesítményfelvétel mint erő-sebesség szorzat határozható meg, vagyis:

$$P_{\tau_i} = F_{\tau_i}(\omega_i R_i), \quad [W] \quad (37)$$

A (29) kifejezés felhasználásával a csúsztatófeszültség biztosításához az i -edik görgő technológiai teljesítményfelvétele a

$$P_{\tau_i} = \tau_o \omega_i L_i R_i \sqrt{2R_i} \sqrt{T_i - t_{oi}} + 3\eta_i \omega_i^2 L_i R_i^2 \cdot \frac{\sqrt{2R_i}}{\sqrt{t_{oi}}} \arctg \sqrt{\frac{T_i - t_{oi}}{t_{oi}}} - 3\eta_i \omega_i^2 L_i R_i^2 \sqrt{2R_i} \frac{\sqrt{T_i - t_{oi}}}{T_i}, \quad [W] \quad (38)$$

összefüggés alapján számítható ki.

Ugyanez az aprítási fok függvényében a (32) kifejezés felhasználásával határozható meg az alábbiak szerint:

$$P_{\tau_i} = \tau_o \omega_i L_i R_i \sqrt{2R_i t_{oi}} \cdot \sqrt{a-1} + 3\eta_i \omega_i^2 L_i R_i^2 \frac{\sqrt{2R_i}}{t_{oi}} \arctg \sqrt{a-1} - 3\eta_i \omega_i^2 L_i R_i^2 \sqrt{2R_i} \frac{\sqrt{a-1}}{a\sqrt{t_{oi}}}, \quad [W] \quad (39)$$

A kollerjárt i -edik görgőjének a csúsztatófeszültség biztosításához szükséges technológiai teljesítmény felvételét a 7. ábra az aprítási fok, a 8. ábra pedig az aprítási sebesség függvényében szemlélteti.

A csúsztatófeszültség biztosításához a kollerjártoknak összesen:

$$P_{\tau} = \sum_{i=1}^N P_{\tau_i}, \quad [W] \quad (40)$$

technológiai teljesítményfelvételre van szüksége, ahol: N – a görgők száma.

6. Eredmények összegzése

Mind a (34) és (35) kifejezésekből, mind a (38) és (39) összefüggésekből jól látható, hogy a kollerjárt tetszőleges i -edik görgője és a tányér közötti résben aprózódó képlékeny-viszkorugalmas anyagban (agvagásványokban) ébredő, az aprítódást elősegítő csúsztatófeszültségek biztosításához szükséges *energiaigény* és *technológiai teljesítményfelvétel* nagysága – értéke – az alábbiaktól függ:

- az aprítandó anyag reomechanikai tulajdonságaitól – a τ_o statikus folyáshatártól és az η_i dinamikus viszkozitástól;
- a feladott anyag T_i „szalagvastagságától”, valamint a realizált a_i aprítási foktól;
- a kollerjárt konstrukciós kialakításától, az alkalmazott görgők L_i , R_i és t_{oi} geometriai méretétől, valamint ω_i szögsebességeitől. A görgők tömegét természetesen úgy kell megválasztani, hogy a tányér és görgő közötti résben található anyag aprításához szükséges – aprítódáskor a masszában ébredő – mechanikai feszültségek létrehozására alkalmas legyen.

Az elméleti összefüggéseket – a csúsztatófeszültség és a nyíróigénybevétel jelentőségét a Kerámia- és Szilikátmérnöki Tanszéken található laboratóriumi görgőjáraton végzett méréseink igazolták a bányanedves agvagásványokon túl még az olyan nem képlékeny-viszkorugalmas anyagok esetén is, mint a nagy tisztaságú kvarchomok vagy az alumínium-oxid atomizerporok.