

Ing. Marcel B i e d e r m a n n, CSc., VÚHU

Ing. Josef V a l e š, VÚHU

Viskozita rozdružovacích suspenzí

Úvod

Část dobývaného těžného uhlí v SHR je upravována gravitačním rozdružováním v suspenzích. Tento úpravnický proces je principiálně jednoduchý a současně představuje nejostřejší a nejdokonalejší způsob rozdružování pro hrubozrnné třídy nerostných surovin /uhlí, rudy/.

Důležitým článkem technologického procesu gravitačního rozdružování je příprava prací suspenze a její regenerace. Fyzikálně-chemické vlastnosti použitého zatěžkávadla značně ovlivňují ostrost rozdružovacího procesu, výkonnost rozdružovače, funkční uspořádání a dobu životnosti systému regenerace. Vzhledem k výše uvedeným vlivům a s přihlédnutím k nutnosti zajištění hospodárného a plynulého provozu jsou kladeny na zatěžkávadla a z nich připravované suspenze následující požadavky:

- hustota zatěžkávadla má být co největší,
- zatěžkávadlo má být nerozpustné ve vodě, inertní ke svému okolí a otěruvzdorné,
- částice zatěžkávadla se musí snadno oddělovat od produktů úpravy a ze zředěných suspenzí,
- suspenze zatěžkávadla má být stabilní a její viskozita nemá překročit hodnotu 14 mPa.s /cP/,
- zatěžkávadlo má být cenově i dopravně dostupné.

Technologické vlastnosti suspenze

K nejdůležitějším technologickým vlastnostem rozdružovacích suspenzí při jejich posuzování řadíme viskozitu a

stabilitu. Používané suspenze jsou disperzní soustavy tuhé fáze ve vodním prostředí. Tuhé částice v tomto prostředí sedimentují. Rychlost usazování se zvětšuje s velikostí a hustotou částic, klesá s jejich koncentrací a viskozitou prostředí. U průmyslově vyráběných rozdružovačů se částečně zabraňuje sedimentaci pevných částic suspenze mechanickým mícháním, které způsobují pohyblivé části zařízení /hřablový řetěz, vynášecí kolo ap./, nebo vhodným konstrukčním usměrněním proudu suspenze v rozdružovací skříni. Často bývají z tohoto důvodu přidávány stabilizátory suspenze. Při provozu hnědouhelných těžkokapalinových prádel se poruchy způsobené nestabilitou suspenze nevyskytují. Při rozdružování dochází k samovolnému přechodu jílových podílů /jílových minerálů/ z volných hlušin těžného uhlí do suspenze a to způsobuje narůstání viskozity a stability. Po určité době se v okruhu prací suspenze ustaví rovnováha. Podíl kalu /jílovité příměsi/ přecházející do suspenze je zhruba stejný jako množství kalu odcházejícího do regeneračního okruhu. Rovnovážný stav je částečně regulován viskozitou prací suspenze. Se zvyšující se viskozitou narůstá odnos suspenze na produktech praní. Z odvodňovacích sít se po sprchování ve zředěném stavu, získává zatěžkávadlo zbavené kalových příměsí zpět na hydrocyklonech nebo magnetických separátorech.

Viskozita prací suspenze do jisté míry ovlivňuje hodinový výkon gravitačního rozdružovače. Má-li vsázka do prádla malou zrnitost a je současně značná viskozita, dochází ke zpomalení rozdružovacího procesu a narůstají nároky na regeneraci suspenze. Na pohyb kulového zrna v kapalném prostředí působí gravitační a vztlačová síla a odpor prostředí. Pro rovnovážný stav sil gravitace a odporu prostředí platí následující vztah podle Stokese:

$$\frac{4}{3}\pi r^3 g (d_n - d_s) - 6\eta r v = 0$$

V daném hmotném prostředí padá zrno rychlostí v :

$$v = \frac{2}{9} g \frac{d_n - d_s}{\eta} r^2 \quad /1/$$

v pádová rychlost zrna /cm.s⁻¹/

r poloměr zrna /cm/

d_n hustota zrna /g.cm⁻³/

d_s hustota suspenze /g.cm⁻³/

η dynamická viskozita suspenze /m Pa.s/

g konstanta gravitačního zrychlení /cm.s⁻²/

Z rozboru vztahu /1/ je zřejmé, že rychlost funkčního pohybu upravovaného zrna při gravitačním rozdružování je nepřímo úměrná viskozitě. Vyrůstá s rozdílem hustot zrna a prací suspenze a čtvercem poloměru zrna.

Stanovení viskozity suspenzí různých látek

Hodnocení a zkoušení nemagnetických zatěžkáadel a suspenzí je dáno oborovou normou ON 44 13 48 /platná od 1. 1. 1967/. V této normě jsou uváděny způsoby pro stanovení viskozity, indexu stability suspenzí, zrnitostního složení a ztrát zatěžkáadel.

Vlastností zatěžkáadel a jejich vliv na samotné gravitační rozdružování ukázaly, že jednou z rozhodujících vlastností suspenze je její viskozita. Pro její stanovení u kapalin se používá viskozimetrů různých konstrukcí /výtokové, kyvadlové ap./. Pouze některé z nich jsou vhodné pro sedimentující suspenze. V souladu s ON 44 13 48 byla viskozita opakovaně určována výtokovým viskozimetrem podle Gröpp-

pela o obsahu 250 ml. Viskozimetr byl kalibrován na základě výtokových časů vodních roztoků glycerolu hodnotami dynamické viskozity, přiřazenými z tabulek podle jejich stanovených hustot. Z experimentálně stanovených hodnot byla stanovena lineární závislost viskozity na době výtoku vzta-
hem:

$$\eta = 0,186 / t - t_0 / + 1,01$$

/2/

kde: t doba výtoku suspenze /s/

t_0 výtoková doba vody při 20°C

1,01 dynamická viskozita vody při 20°C

Vzorky různých zatěžkáadel byly tříděny za sucha na kontrolním síti 0,3 mm. U třídy 0,3 - 0,0 mm byla stanovena podle ČSN 44 1322 skutečná hustota - d_r^d /g.cm⁻³/. Z předem stanovených navážek vzorků a objemů vody byly ručním mícháním připraveny základní suspenze. Jejich hustota byla zjišťována vážením a měřením objemu vzorků suspenzí v kalibrovaném odměrném válci. Vzorky suspenzí byly postupně ředěny. Byl získán minimálně pětičlenný soubor zkušebních dat, vyjadřující závislost viskozity na hustotě suspenze. Experimentální práce byly prováděny za laboratorní teploty $20 - 23^\circ \text{C}$.

Závislost viskozity na hustotě suspenze

Laboratorně byla zkoušena různá zatěžkáadla /suspenzoidy/. Některá jsou a byla používána, jiná se jeví jako potenciálně použitelná. Soubor experimentálně získaných údajů o různých zatěžkáadlech byl matematicky vyhodnocen. Vyhovující těsnost vykazuje vyjádření viskozity pomocí objemové koncentrace zatěžkáadla v exponenciálním tvaru.

$$\eta = 1 / \frac{1}{\eta_0} - \frac{1}{\eta_s} / p\eta \quad \text{nebo} \quad \eta = 1 / \frac{d_r^d - 1}{d_r^d - d_s} / p\eta \quad /3/$$

V logaritmickém tvaru:

$$p_{\eta} = \frac{\ln \eta}{\ln \left/ \frac{1}{1 - o_1} \right/} = \frac{\ln \eta}{\ln \left/ \frac{d_r^d - 1}{d_r^d - d_s} \right/} \quad /4/$$

$$o_s = \frac{d_s - d_v}{d_r^d - d_v} = \frac{d_s - 1}{d_r^d - 1} \quad /5/$$

η dynamická viskozita /m Pa.s/

o_s objemová koncentrace zatěžkávadla
/interval 0 - 1/

p_{η} viskozni exponent

d_s hustota suspenze /g.cm⁻³/

d_r^d skutečná hustota zatěžkávadla v bezvodém stavu
/g.cm⁻³/

d_v hustota vody při dané teplotě /g.cm⁻³/

Viskozni exponent p_{η} charakterizuje zatěžkávadlo z hlediska viskozity jeho suspenzí. Jeho hodnota je nezávislá na hustotě suspenze případně na objemové koncentraci zatěžkávadla. Umožňuje hodnotit jednotlivá zatěžkávadla /vyšší hodnota naznačuje větší vazkost vytvářených suspenzí/. Viskozni exponent narůstá s klesající průměrnou zrnitostí a pravděpodobně i s rostoucí členitostí povrchu částic zatěžkávadla. Při konstantní zrnitosti je možno posuzovat viskozni exponent jako kvalitativní znak zatěžkávadla.

V příložené tabulce č. 1 jsou uvedeny průměrné hodnoty viskozničních exponentů jednotlivých zatěžkávadel tak, jak byly stanoveny při laboratorních zkouškách. Studované látky

je možno seřadit podle stoupajícího viskozního exponentu v následující řadu: baryt, el. popílek 1, cihla, pelosiderit, magnetit, el. popílek 2, louženec, pyritové výpalky, jílovitouhelný kal, kopaný písek.

V tabulce č. 2 jsou propočítány dynamické viskozity suspenzí tvořených různými zatěžkávadly o hustotách 1,35 a 1,60 g.cm⁻³, které odpovídají dělicím řezům při rozdružování hnědého uhlí. Dynamické viskozity jsou propočítány pro postupné znečišťování sušiny zatěžkávadla jílovitouhelným kalem. Hodnoty dynamické viskozity znečištěných suspenzí byly stanoveny podle následujících vzorců:

$$d_{rk} = \frac{1}{\frac{1 - G_k}{d_r} + \frac{G_k}{d_k}} \quad /6/$$

$$p_{\eta rk} = d_{rk} / \frac{1 - G_k}{d_r} \cdot p_{\eta r} + \frac{G_k}{d_k} p_{\eta k} \quad /7/$$

$$\ln \eta_{rk} = p_{\eta rk} \cdot \ln \left/ \frac{d_{rk} - 1}{d_{rk} - d_s} \right/ \quad /8/$$

d_{rk}		hustota sušiny zatěžkávadla znečištěného kalem /g.cm ⁻³ /
d_r		hustota zatěžkávadla /g.cm ⁻³ /
d_k		hustota kalu
G_k		váhový obsah kalu v sušině zatěžkávadla
d_s		hustota suspenze
$p_{\eta r}$		viskozní exponent zatěžkávadla
$p_{\eta k}$		viskozní exponent kalu
$p_{\eta rk}$		viskozní exponent kalu znečištěného zatěžkávadla

Tabulka č. 2 uvádí, že pro dělicí řez $1,35 \text{ g.cm}^{-3}$ je možno použít suspenze všech sledovaných zatěžkáadel s výjimkou el. popílku 2, kopaného pisku a jílovitouhelného kálu. Pro dělicí řez $1,6 \text{ g.cm}^{-3}$ budou vyhovovat suspenze magnetitové, u barytových je snižená použitelnost /zkoušený vzorek barytu byl prorostlý fluoritem/. U suspenzí připravených z ostatních zatěžkáadel dochází k prudkému nárůstu dynamické viskozity vlivem znečištění kalem. S tím úzce souvisí snížení výkonů rozdružovačů, ostrosti rozdružování a nutnost intenzivní regenerace suspenze.

Závěr

Viskozita a hustota suspenze, případně objemová koncentrace zatěžkáadla, jsou vázány nově formulovanou a dostatečně těsnou exponenciální závislostí. Na základě této závislosti je možno stanovit viskozni exponent, který je záporně položeným poměrem logaritmu viskozity a objemové koncentraci vody v suspenzi. Viskozni exponent ρ charakterizuje zatěžkáadlo z hlediska viskozity jeho suspenzí. Jeho hodnota je nezávislá na hustotě suspenze, případně na objemové koncentraci zatěžkáadla /vyšší hodnota naznačuje větší vazkost vytvářených suspenzí/. Viskozni exponent narůstá s klesající průměrnou zrnitostí a pravděpodobně i s rostoucí členitostí povrchu zatěžkáadla. Při konstantní zrnitosti je možno považovat viskozni exponent za kvalitativní znak zatěžkáadla. Charakteristika látek pomocí viskozniho exponentu umožňuje určit, jak se mění viskozita suspenze přidavkem dalšího zatěžkáadla /znečišťující látky/. Doposud bylo možno stanovit viskozitu směsných suspenzí pouze přímým měřením.

Provedené experimenty potvrdily, že z dosud používaných zatěžkáadel pro rozdružování hnědého uhlí je nejvhodnější magnetit. Magnetitové suspenze o hustotě okolo hodnoty $1,60 \text{ g.cm}^{-3}$ nejsou postihovány tak rychlým růstem viskozity při znečišťování jílovitouhelným kalem, jako suspenze připravené z ostatních zatěžkáadel.

Tabulka č. 1 Skutečné hodnoty a viskozni exponenty různých látek /zrnitost $\leq 0,3$ mm/

Látka	Původ	Hustota sušiny d_r^d s váh. obsahem G_k jílovito-uhel. kalu /g.cm ⁻³ /			Viskozni exponent p_{η}
		0 %	10 %	30 %	
magnetit	RD Měděnec	4,88	4,30	3,47	5,386
louženec	Niklová huť, Sereď	4,61	4,11	3,37	8,861
pyritové výpalky	CHEZA, Lovosice	4,17	3,79	3,20	10,240
pelosiderit	SHR, důl Šverma	3,66	3,40	2,98	5,248
baryt	RD Harrachov	3,20	3,03	2,75	3,159
popílek 1	Elektrárna Ledvice	2,74	2,65	2,50	5,108
kopaný písek	neznámý	2,69	2,61	2,47	13,276
cihla	Cihelna SHR Fortuna	2,68	2,60	2,46	5,214
popílek 2	Elektrárna Ledvice	2,59	2,53	2,41	6,441
jílovito-uhelnatý kal	SHR Úpravna uhlí, Komořany	2,07	2,07	2,07	10,525

Tab. č. 2 - Dynamická viskozita suspenzí různých látek o hustotách používaných při úpravě hnědého uhlí a o různém znečištění sušiny jílovito-uhelným kal^{em}

Látka	Dynamická viskozita (m Pa.s) suspenze o hustotě d_s a s obsahem G_k kalu v sušině					
	$1,35 \text{ g.cm}^{-3}$			$1,60 \text{ g.cm}^{-3}$		
	0 %	10 %	30 %	0 %	10 %	30 %
magnetit	1,66	1,85	3,38	2,47	3,65	9,21
louženec	2,47	3,00	4,69	5,01	7,18	16,85
pyritové výpalky	3,31	3,98	6,04	8,57	12,12	27,34
pelosiderit	2,10	2,62	4,33	3,82	5,81	15,25
baryt	1,80	2,33	4,09	2,72	4,44	13,19
popílek 1	3,15	3,98	6,55	8,67	13,72	37,13
kopaný písek	21,78	23,74	28,36	337,71	413,41	635,04
cihla	3,38	4,26	7,00	10,01	15,82	42,75
popílek 2	4,96	6,08	9,45	21,15	31,80	78,88
jílovito-uhelný kal	64,69	64,69	64,69	5760	5760	5760