

Využitie ferokvapalín pri úprave uhlia

Štefan Jakabský¹, Michal Lovás¹, Annamária Mockovčiaková¹, Slavomír Hredzák¹
a Ľudmila Turčániová¹

Utilization of ferrofluids in coal preparation

The contribution deals with the possibilities of ferrofluid application as a separation medium and a selective wetting agent with the aim of desulphurization and ash content decreasing of brown coal from Slovak deposits. The influence of magnetic field induction on sulphur and ash content in the products of magneto-hydrostatic separation was observed. The adsorption of ferrofluids on the surface of coal was observed. The ferrofluids cause above all the change of magnetic properties and they increase the separability of materials under magnetic field.

Key words: coal, ferrofluids, magneto-hydrostatic separation, magnetic separation.

Úvod

Ferokvapaliny, definované ako stabilné koloidné systémy monodomérových častíc v kvapalnom nosiči, môžu byť využité pri úprave nerastných surovín dvojakým spôsobom:

- ako rozdužovacie médium pre gravitačný spôsob rozdužovania nemagnetických látok. V tomto prípade sa využíva pôsobenie gradientného magnetického poľa na ferokvapalinu. V dôsledku pôsobenia poľa sa mení "efektívna" hustota ferokvapaliny v širokom rozsahu. Tento efekt sa využíva pri rozdužovaní širokého spektra nemagnetických materiálov rôznych hustôt (Andres, 1976; Guljachin, A.B. et al, 1984; Lovás et al, 1996).

- ako zmáčacie činidlá, ktoré sa selektívne adsorbujú na povrch zrn a zvyšujú magnetickú susceptibilitu určitých zložiek upravovaných materiálov na mieru potrebnú pre uskutočnenie následnej magnetickej separácie (Cox, 1980; Noháčová, 1986; Gubarevic, 1989), resp. ovplyvňujú ich povrchové vlastnosti (Lovás et al, 1997).

Obe techniky používajú pri rozdužovaní magnetické pole. Fyzikálne javy, ktoré sú podstatou rozdužovania, sa však líšia. Pre potreby úpravnickej praxe, kde spotreba kvapalín je vysoká, je nutné použitie netoxických, ľahko „zmývateľných“ a cenovo prístupných magnetických kvapalín.

Princíp magneto-hydrostatického rozdužovania

Nehomogénne magnetické pole generuje v objeme ferokvapaliny gradient tlaku. Reguláciou magnetického poľa môžeme v širokom rozsahu meniť výtlačnú silu v objeme ferokvapaliny.

Výsledná sila, ktorá pôsobí vo vertikálnom smere (z) na jednotkový objem nemagnetickej častice je

$$F = \rho_p g - \rho g - \mu_0 I \frac{\partial H}{\partial z} = (\rho_p - \rho_{eff}) g, \quad (1)$$

pričom

$$\rho_{eff} = \rho + \frac{1}{g} \mu_0 I \frac{\partial H}{\partial z}, \quad (2)$$

kde ρ - hustota ferokvapaliny pri $H=0$ [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$],
 ρ_p - hustota nemagnetickej častice [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$],
 I - magnetizácia ferokvapaliny [$\text{A}\cdot\text{m}^{-1}$],
 H - intenzita magnetického poľa [$\text{A}\cdot\text{m}^{-1}$],
 g - gravitačná konštanta [$\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$].

¹ Ing. Štefan Jakabský, CSc., RNDr. Michal Lovás, RNDr. Annamária Mockovčiaková CSc., Ing. Slavomír Hredzák, a Ing. Ľudmila Turčániová CSc., Ústav geotechniky SAV, Watsonova 45, 043 53 Košice, tel.: 095/632741 (Recenzovaná a revidovaná verzia doručená 30.10.1998)

Ak je hustota častíc väčšia ako „efektívna“ hustota ferokvapaliny, potom častice klesajú, v opačnom prípade sú vytlačané na hladinu ferokvapaliny. Tento efekt je, podobne ako pri ťažkých kvapalinách, podstatou magnetohydrostatického rozdužovania.

Magnetohydrostatické rozdužovanie uhlia

Využitie ferokvapalín na gravitačné rozdužovanie uhlia má v porovnaní s rozdužovaním iných materiálov určité špecifiká. Deliaci hustota sa pohybuje v intervale $1200\text{--}2200 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$. Na dosiahnutie požadovaných hustôt je potrebné, aby $dH/dz \in < 200 - 1800 > \text{ kA}\cdot\text{m}^{-2}$.

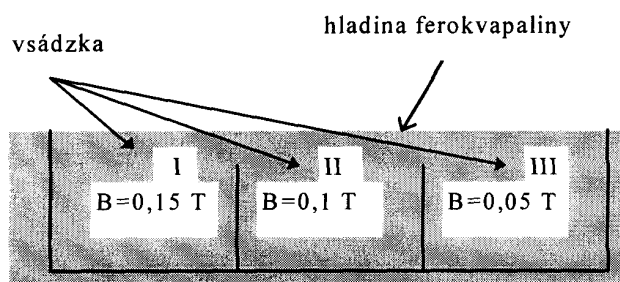
Možnosť náhrady ťažkých kvapalín a suspenzií ferokvapalinami, s cieľom zníženia obsahu popola a síry v uhlí, resp. pre rozplavovacie analýzy, bola odskúšaná na vzorkách uhlia z bane Nováky. Experimenty boli vykonané na laboratórnom MHS rozdužovači.

Rozdužovací priestor (štrbina elektromagnetu) bol vytvorený horizontálne orientovanými klinovými pólovými nastavcami, s vrcholovým uhlom 22° .

Parametre laboratórneho rozdužovača:

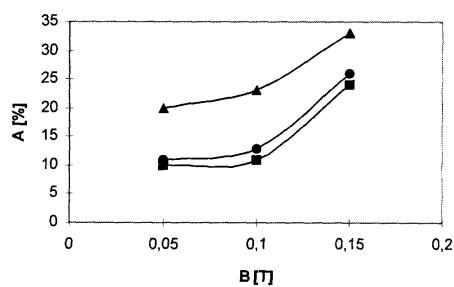
| | |
|---------------------------------------|---------|
| šírka kanálu na hladine ferokvapaliny | 26 mm, |
| dĺžka kanálu | 160 mm, |
| výška kanálu | 100 mm. |

Praktické skúšky rozdužovania uhlia rôznych zrnitosti z bane Nováky boli uskutočnené vo ferokvapaline na báze vody. Vzorka bola podávaná do oblasti s maximálnou indukciou magnetického poľa (resp. „efektívnej“ hustoty) a jednotlivé častice sa usadzovali v závislosti na ich hustote (obr.1). V troch získaných produktoch (I, II, III) bol pri uvedených stredných indukciách magnetického poľa sledovaný obsah popola a celkovej síry.

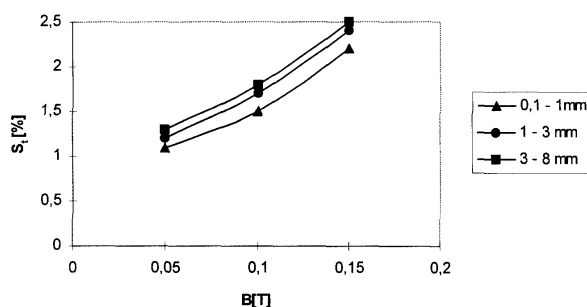


Obr. 1. Rozdužovacia kazeta pre viacproduktový magnetohydrostatický spôsob rozdužovania uhlia.

Výsledky z laboratórnych testov rozdužovania uhlia z bane Nováky sú uvedené na obrázkoch 2 a 3.



Obr.2. Distribúcia popola po MHS rozdužovaní energetického uhlia z bane Nováky.



Obr.3. Distribúcia celkovej síry po MHS rozdužovaní energetického uhlia z bane Nováky.

Z obrázkov 2 - 3 vyplýva, že v procese MHS separácie dochádza k prerozdeleniu popola a síry do produktov I, II, III. Obsah popola a síry pre uvedené zrnitosti klesá s klesajúcou indukciou magnetického poľa. Konfigurácia magnetického poľa v rozdužovacom kanále laboratórneho magnetohydrostatického rozdužovača zabezpečila rozduženie uhlia na tri produkty. V prípade predĺženia rozdužovacieho kanála možno rozdužiť uhlie na ľubovoľný počet frakcií. Výhodou tejto metódy rozdužovania je plynulá zmena hustoty pozdĺž rozdužovacieho kanálu, s možnosťou jej

regulácie. Posúvaním prepážok v kazete je možné zabezpečiť voľbu hustotných rezov a kontinuálny odber produktov. Využitie uvedenej rozdrúžovacej metódy je vhodné najmä pre rozplavovacie analýzy uhlia.

Meranie styčných uhlov zrnitých materiálov

Pre účely využitia ferokvapalín, ako zmáčacieho činidla, je dôležité poznať ako konkrétne ferokvapaliny zmáčajú povrch materiálov. Proces zmáčania povrchov zrnitých materiálov magneticky polarizovateľnou kvapalinou bol hodnotený pomocou uhlov zmáčania.

Meranie uhlov zmáčania za účelom posudzovania zmáčateľnosti zrnitých materiálov ferokvapalinami je komplikované. Na určenie uhlov zmáčania bola použitá kapilárna penetračná metóda, využívajúca Washburnovu rovnicu (Washburn, 1921; Szekely, 1971), ktorá popisuje pohyb kvapaliny vrstvou častíc:

$$\frac{h^2}{t} = \frac{r_{eff}^2}{8\eta} \left[\frac{2\gamma_{lv} \cos \theta_p}{r_{eff}} - \Delta\rho gh \right], \quad (3)$$

kde

η - viskozita kvapaliny [$m^{-1} \cdot kg \cdot s^{-1}$],

r_{eff} - efektívny polomer kapilár [m],

$\Delta\rho$ - rozdiel hustoty medzi kvapalinou a okolitým médiom [$kg \cdot m^{-3}$],

h - výška stĺpca kvapaliny [m],

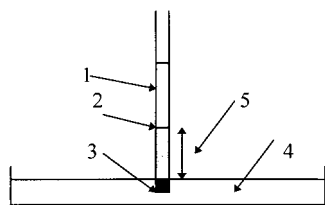
θ_p - styčný uhol meraný cez kvapalnú fázu.

Ak poznáme rýchlosť zmáčania dvoch kvapalín, z ktorých jedna perfektne zmáča povrch / $\cos \theta_p = 1$ /, potom styčný uhol vyjadríme vzťahom :

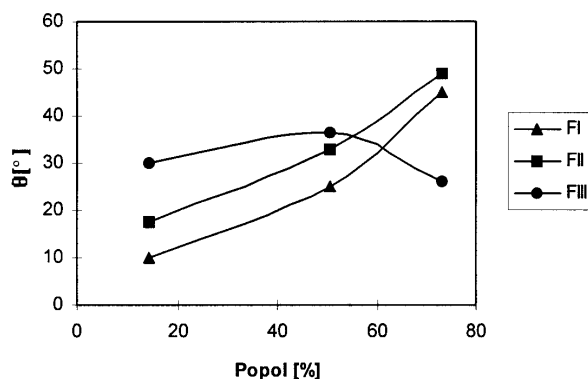
$$\cos \theta_p = \frac{\left(\frac{h^2}{t}\right)_n (\gamma_{lv})_w \eta_n}{\left(\frac{h^2}{t}\right)_w (\gamma_{lv})_n \eta_w}, \quad (4)$$

kde $\left(\frac{h^2}{t}\right)_n$ a $\left(\frac{h^2}{t}\right)_w$ sú rýchlosti zmáčania pre slabo a dobre zmáčajúce kvapaliny a $(\gamma_{lv})_n$, $(\gamma_{lv})_w$ sú medzifázové napätia.

Meranie rýchlosti prúdenia kvapalín vrstvou zrn sa realizuje v kapiláre / obr. 4./ a uhly sa určujú výpočtom z rovnice (4)



Obr.4. Experimentálne zariadenie pre určovanie uhlov zmáčania (1- vrstva zrn, 2- čelo zmáčania, 3- sklenená vata, 4 - z bane Nováky pre rôzne ferokvapaliny FI, FII, FIII, 5 - výška (h)).



Obr.5. Závislosť uhlov zmáčania na obsahu popola uhlia (1- vrstva zrn, 2- čelo zmáčania, 3- sklenená vata, 4 - z bane Nováky pre rôzne ferokvapaliny FI, FII, FIII, 5 - výška (h)).

V prípade použitia ferokvapaliny na báze petroleja a oleja je závislosť uhlov zmáčania na obsahu popola výraznejšia. S rastúcim obsahom popola rastie uhol zmáčania. Ferokvapaliny na báze petroleja a oleja sa lepšie adsorbujú na organické zložky uhlia.

Modifikácia magnetických vlastností uhlia ferokvapalinami

Modifikácia magnetických vlastností materiálov je založená na schopnosti adsorpcie ferokvapalín na hydrofóbne plochy. Magnetickú susceptibilitu pôvodne slabomagnetického zrna s naadsorbovanou ferokvapalinou môžeme vyjadriť v tvare (Brož, 1974):

$$\chi_3 = \frac{\chi_2 V_2 + \chi_1 V_1}{V_3}, \quad (5)$$

kde

χ_1, V_1 – je magnetická susceptibilita a objem slabomagnetických zrn [j. SI], [m³],

χ_2, V_2 – je magnetická susceptibilita a objem adsorbovanej ferokvapaliny [j. SI], [m³],

χ_3, V_3 – je magnetická susceptibilita a objem zrna s ferokvapalinou [j. SI], [m³].

K zvýšeniu magnetickej susceptibility zrna polomeru 100 μm o dva rády je nutná adsorpcia $1,2 \cdot 10^{-10}$ kg ferokvapaliny s magnetickou susceptibilitou 0,1 j.Si.

Skúšky magnetickeho rozdzušovania uhlia z bane Nováky boli realizované na rozdzušovači typu Jones „, s ryhovanými doskami. Do vodnej suspenzie hnedého uhlia zrnitosti 0,1 - 0,2 mm bola počas intenzívneho miešania pridaná ferokvapalina na báze petroleja ($15 \text{ cm}^3 \text{ kg}^{-1}$). V procese magnetickeho rozdzušovania pri indukcii magnetickeho poľa 1,2 T bolo dosiahnuté zníženie obsahu popola v magnetickom koncentráte asi o 50% a síry o 40%.

Záver

Hlavným cieľom tohto príspevku bolo poukázať na uplatnenie ferokvapaliny, ako rozdzušovacieho média a zmáčacieho činidla, zabezpečujúceho selektívne zvýšenie magnetickej susceptibility uhlia. Z experimentálnych výsledkov vyplýva, že ferokvapalina môže byť v praxi použitá ako náhrada ťažkých kvapalín najmä pri rozplavovacích analýzach uhlia. Schopnosť selektívnej adsorpcie niektorých ferokvapalín na zložky uhlia môže byť využitá na selektívne zvýšenie magnetickej susceptibility a následné zvýšenie efektivity magnetickeho rozdzušovania.

Tento príspevok vznikol v rámci riešenia úloh VEGA (grant č.2/3001/96) a Slovensko-amerického projektu č. 031-95.

Literatúra

- Andres, U.: Magnetohydrodynamic and magnetohydrostatic methods of mineral separation. *Toronto, Jerusalem, 1976.*
- Brož, A. et al.: The basics of physical measurements. *SPN, Praha, 1974.*
- Cox, C.H. and Sladek, T.A.: Coal preparation using magnetic separation. *Final report vol. 4. Golden. Colorado school of mines research institute, 1980.*
- Gubarevic, V.N.: Development of new magnetic separator for mineral processing and separation of non-magnetic materials in ferrofluids. *Proceedings: „ Theoretical and technological problems of the magnetic separation of raw materials“, Kosice, 1989.*
- Guljachin, A.B. et al.: Rare materials in quasiheavy media. *Novosibirsk, 1984.*
- Lovás, M., Jakabský, Š. and Hredzák, S.: The application of heterogeneous polarisable fluids in mineral processing. *Magnetic and Electrical Separation, Vol. 7., 1996, p. 65.*
- Lovás, M., Jakabský, Š., Mockovčiaková, A. and Hredzák S.: Possibilities of utilization of ferrofluid at flotation of minerals. *9. International mining conference, Košice, Section No.4, Ekotechnologia a mineralurgia., 1997, p. 31.*
- Noháčová, A. : The application of ferrofluid on magnetic separation of coal. *Thesis, 1986.*

- Subrahmanyam, T.V., Prestidge, C.A., and Ralston, J.: Contact angle and surface analysis studies of sphalerite particles. *Minerals Engineering*, Vol. 9, No. 7, 1996, p. 727.
- Szekely, J., Newman, A.W. and Chuang, Y.K., J.: *Colloid Interface Sci.*, 35, 1971, p. 273.
- Washburn, E.W.: *Phys. Rev.*, 17, 1921, p. 273.