

ROZDRUŽOVÁNÍ NEROSTNÝCH SUROVIN V ODSŤŘEDIVÉM POLI

Abstrakt

Velká část metod, používaných pro separaci nerostných surovin a odpadů je založena na rozdílných hustotách jednotlivých složek suroviny. Tyto metody jsou označovány jako gravitační rozdrůžování. Gravitační rozdrůžování jemných zrn je však při pouhém využití gravitačních sil málo účinné. Problémy rozdrůžování jemných zrn je možno řešit využitím sil odstředivého pole. Příspěvek je věnován aplikaci různých typů odstředivých rozdrůžovačů pro úpravu a separaci jemnozrnných nerostných surovin a odpadů.

Abstract

Most of the methods used for separation of minerals and waste is based on different densities of individual components of raw materials. These methods are called gravitation separation. The gravitation separation of fine grains is the mere use gravitation power ineffective. Problems with separation of fine grains can be solved by using a centrifugal powers field. The article is dedicated to the application of various types of centrifugal separators for treatment and separation of fine-grained raw materials and waste.

Klíčová slova: gravitační rozdrůžování, odstředivá síla, jemnozrnné suroviny, hydrocyklon

Keywords: gravity separation, centrifugal force, fine-grained materials, hydrocyclone

1. Úvod

Pro úpravu nerostných surovin i celé řady odpadů je používáno široké spektrum metod, založených na rozdílných fyzikálních, fyzikálně-chemických nebo chemických vlastnostech. Volba vhodného způsobu zpracování suroviny vyžaduje poměrně

rozsáhlou analýzu jednotlivých vlastností suroviny a je závislá na celé řadě faktorů. Mezi nejrozšířenější metody patří gravitační způsoby úpravy, které lze za určitých podmínek použít ke zpracování jak hrubozrnných tak jemnozrnných materiálů.

2. Metody separace materiálů v odstředivém poli

Rozdružování s využitím odstředivých sil patří mezi nejúčinnější metody zpracování jemnozrnných surovin. Ze systematického hlediska jej můžeme zařadit do skupiny gravitačního rozdružování, založeného na využití rozdílných hustot jednotlivých složek suroviny. Rozdružování směsí zrn složených z malých částic je však při pouhém využití gravitačních sil pomalé a málo účinné. Rychlost oddělení zrn s vyšší hustotou od zrn s hustotou menší je relativně malá a je negativně ovlivňována viskozitou rozdělovacího prostředí. Získané produkty jsou pak znečištěny chybnými zrny, dochází ke ztrátě užitkové složky a ke snížení účinnosti rozdružování. Tento problém lze uspokojivě řešit využitím sil odstředivého pole. Mezi zařízení, využívající k oddělování jednotlivých složek suroviny spolupůsobení odstředivých sil, můžeme zařadit především hydrocyklony a rovněž odstředivé pneumatické a hydraulické separátory (např. rozdružovače typu Knelson).

Hydrocyklony zaujímají při úpravě nerostných surovin a nejrůznějších typů jemnozrnných odpadů nezastupitelné místo. Nejčastěji používaný typ hydrocyklonu - hydrocyklon kuželovitého tvaru - byl vyvinut holandským výzkumníkem M.G.Driessenem v letech druhé světové války a svého rozšíření se dočkal v průběhu padesátých let XX. století. Jako jedno z mála úpravnických zařízení je zařízením téměř univerzálním. Uplatňuje se jednak ve funkci třídící a zahušťovačů, respektive při čerání kapalin a odkalování rmutů, jednak i ve funkci rozdružovačů. I když každá z uvedených operací vyžaduje zpravidla přizpůsobení určitých parametrů, podstata působení zůstává neustále stejná. Přestože hydrocyklon obecně patří mezi nejméně komplikovaná zařízení, používaná v úpravnické praxi, existuje celá řada faktorů, které ovlivňují jeho práci. Všechny tyto faktory lze v zásadě rozdělit do dvou skupin - na konstrukční parametry hydrocyklonu a na parametry technologické. Do první skupiny patří geometrické rozměry hydrocyklonu. Mezi nejdůležitější (to znamená

mezi parametry, které nejvíce ovlivňují práci hydrocyklonu) patří průměr hydrocyklonu, průměry vstupní, přepadové a výtokové trysky, velikost vrcholového úhlu kuželové části hydrocyklonu. Do této skupiny patří rovněž takové parametry jako konstrukční uspořádání a délka přepadové trysky, způsob vynášení produktů hydrocyklonu, kvalita vnitřního povrchu a také poloha hydrocyklonu. Mezi parametry druhé skupiny můžeme zařadit pracovní tlak, granulometrické složení zpracovávané suroviny, obsah tuhé fáze v přívodu a její mineralogické složení, hustotu kapalně fáze a jednotlivých složek suroviny, viskozitu rmutu a eventuelně také jeho teplotu.

Tuhá fáze jemnozrnných suspenzí je v třídících a zahušťovacích hydrocyklonech oddělována v podstatě pouze na základě velikosti zrna, přičemž hustota hraje pouze podružnější roli. V praxi je na těchto typech hydrocyklonů dosahováno dělicí velikosti zrna v rozmezí jednotek až stovek μm . Ve funkci klasifikátorů jsou hydrocyklony používány na úpravách zpracovávajících širokou škálu nerostných surovin. Mohou být zařazeny v uzavřených mlecích okruzích spolu s kulovými mlýny při flotační úpravě rud, bývají nedílnou součástí úpraven kaolínových surovin a jsou nasazovány v technologických linkách výroby kameniva pro odstranění nejjemnějších podílů tzv. výsivek. Jsou aplikovány rovněž ve vodních okruzích uhelných úpraven.

Rozdružování surovin pomocí hydrocyklonů může probíhat buď pouze ve vodním prostředí, nebo s využitím těžkých suspenzí. Starší literatura uvádí pouze omezenou možnost aplikace hydrocyklonů, používajících jako rozdružovací medium vody a zmiňuje se zejména o rozdružovacích těžkosuspenzních hydrocyklonech. Zkušenosti autorů tohoto příspěvku i dalších výzkumných pracovníků však nasvědčují tomu, že použití tzv. „water-only“ hydrocyklonů je velmi efektivní. Bylo odzkoušeno využití hydrocyklonů nejen pro rozdružování nerostných surovin před jejich dalším zpracováním, nýbrž rovněž jejich nasazení při zpracování a recyklaci odpadů.

Speciálním způsobem využití hydrocyklonů v modifikované verzi je zařízení, označované jako Cyclosizer, používané k nepřímému stanovení zrnitostního složení jemnozrnných surovin, u kterých není možno dostatečně efektivně použít klasický síťový rozbor. Hydrocyklony jsou namontovány v obrácené poloze tak, že jejich výtoková tryska směřuje vzhůru, přičemž přepadová tryska každého hydrocyklonu je spojena s přívodní tryskou hydrocyklonu následujícího. Přepadová tryska posledního hydrocyklonu je zaústěna do odpadní nádoby. Výtoková tryska každého

hydrocyklonu je opatřena malou válcovitou komorou s výpustním ventilem. Tento ventil je během testu uzavřen a komora slouží jako zásobník hrubého produktu (výtoku) hydrocyklonu. Zásobník vzorku je opatřen ventilem pro kontrolu průtoku vody ze zásobní nádrže do sestavy hydrocyklonů. Průtok je sledován rotametrem. Sledována je rovněž teplota vodní suspenze. Částice menší než je dělicí velikost zrna hydrocyklonu přechází postupně k jeho přepadové trysce a postupují do navazujícího hydrocyklonu. Jemný produkt posledního hydrocyklonu je odváděn do odpadu. Částice větší než je příslušná dělicí velikost zrna se shromažďují v komoře hydrocyklonu u výtokové (horní) trysky. Takto získané produkty jsou zváženy a na základě zjištěných hodnot je stanovena (přepočtem pomocí korekčních faktorů na skutečné provozní parametry) efektivní dělicí velikost zrna jednotlivých hydrocyklonů. Tímto způsobem je stanoveno zrnitostní složení sledované suroviny a získané produkty je možno podrobit potřebným analýzám.

Odlišný typ zařízení představují tzv. odstředivé separátory (například typu Knelson), aplikované primárně pro separaci zlata popřípadě těžkých minerálů. Principiálně pracují tato zařízení tak, že jemnozrnná surovina je rotací pracovního kužele uvedena do rotačního pohybu a zároveň prostřednictvím rozdužovacího média (vzduch nebo voda) uvedena do částečně fluidního stavu. Rozdílná velikost odstředivé síly, působící na zrna odlišné hustoty, umožňuje následně transport těžkých podílů směrem k povrchu rozdužovacího kužele a jejich sedimentaci v drážkách, jimiž je kužel opatřen. Na rozdíl od hydrocyklonů jde v tomto případě o diskontinuálně pracující zařízení. Základními faktory, které ovlivňují technologický průběh rozdužování v odstředivých separátorech, jsou především rychlost rotačního pohybu, průtok rozdužovacího média, geometrické rozměry separačního kužele a jeho povrchu (vrcholový úhel kužele, počet drážek, vnitřní úhel drážek atd.). Tyto parametry jsou stanoveny na základě předběžných testů zpracovávané suroviny a většinou je nelze operativně měnit. Mezi další parametry, určující účinnost separace patří samozřejmě také denzometrické a granulometrické složení suroviny, doba jednotlivých pracovních cyklů, a zahuštění přívodní suspenze.

3. Aplikace odstředivého rozdužování v zpracování oblasti nerostných surovin a odpadů

Oddělení úpravy nerostných surovin Institutu hornického inženýrství se ve své aplikované výzkumné činnosti dlouhodobě věnuje možnostem využití rozduřování s využitím odstředivých sil jak v oblasti primárních surovin, tak v oblasti zpracování odpadů.

Jako příklad klasické aplikace hydrocyklonů při úpravě minerálních surovin může sloužit jejich nasazení pro zpracování okrů a bolusů, které představují možný zdroj přírodních minerálních pigmentů. V oblasti severočeské hnědouhelné pánve, v blízkém i širším okolí dobývacích prostorů hnědého uhlí se nalézají potenciální zdroje surovin, vhodných pro použití při výrobě barviv a keramiky. Jde především o suroviny pro výrobu ekologických přírodních pigmentů a plniv. Tyto materiály se vyskytují především v horninových tělesech, obsahujících rozložené i přeplavené tufitické horniny se zvýšenými obsahy různých forem Fe_2O_3 popřípadě dioktoedioké slídy seladonitu, bohaté na Fe^{3+} a Fe^{2+} a mohou představovat zdroj pro poměrně levnou a jednoduchou přípravu světlostálých pigmentů. Z barevných pigmentů perspektivních pro těžbu a zpracování na barviva či plniva jsou to zejména železité okry a bolusy. V rámci technologického výzkumu byla provedena řada experimentů. Cílem prací bylo navržení technologie, která by zajistila přípravu produktu vhodného zrnitostního a mineralogického složení s jeho dalším uplatněním jako minerálního pigmentu. Celá technologie je založena na využití odstředivé separace v hydrocyklonech a zajišťuje výrobu užitkového produktu – přírodního minerálního pigmentu - který může široké uplatnění zejména při probarvování stavebních hmot a výrobků z plastů [1, 2, 3, 4].

V minulosti byla řešena rovněž problematika separace těžkých minerálů z perlitové suroviny. Perlitová suspenze bývá používána ve sklářském průmyslu při broušení skleněných povrchů (v minulosti se například používala při broušení stínítek barevných televizních obrazovek). Používaný perlit musí splňovat poměrně přísné požadavky jak po stránce granulometrického, tak po stránce mineralogického složení. Při opracování skleněných povrchů pomocí perlitové suspenze nedochází k obroušování jednotlivých zrn, jako je tomu u pemzových brusiv, nýbrž k jejich rozlamování na menší částice. Tím se podstatně mění granulometrické složení brousící suspenze, což vede k nestejněměrnému opracování skleněného povrchu. Obecně platí, že účinnost brousícího pochodu se zvyšuje se snižováním zrnitostního rozsahu. Hlavní zastoupení v brusné suspenzi by měla tvořit zrna v rozmezí 0,08 až

0,15 mm. Je proto nutno v některých případech perlitovou brusnou suspenzi regenerovat, tzn. regulovat její zrnitostní složení a odstraňovat jemné skleněné podíly. Rozsáhlými analýzami bylo zjištěno, že pro dosažení vyhovující kvality broušení je nutné, aby používaná suspenze, kromě vhodné granulometrie, splňovala i podmínky homogenity co do tvrdosti a hustoty. Nepříznivými materiály, obsaženými v perlitech, jsou zejména tzv. těžké minerály (s hustotou nad 2500kg/m^3), zastoupené biotitem, zirkonem, ilmenitem, rutillem a podobně. I když v mnohých případech bývají tyto minerály v perlitu zastoupeny jen akcesoricky, mohou výsledky broušení negativně ovlivňovat. Vzhledem k nízkým obsahům těžkých minerálů v perlitových surovinách a jejich jemnému granulometrickému složení se jako vhodná metoda pro separaci těchto minerálů nabízí rozduřování na hydrocyklonech. Pro řešení této problematiky byla navržena a odzkoušena technologická linka, tvořená soustavou hydrocyklonů, která zajistila dostatečné snížení obsahu těžkých materiálů v brusné perlitové suspenzi (z hodnoty cca 9% na výslednou hodnotu 0.8%) [5, 6].

Nejvýznamnějšími projekty v oblasti použití odstředivé separace při recyklaci odpadů byly úkoly, zaměřené na dekontaminaci a recyklaci jemnozrnných odpadů (úletů a kalů) z hutnictví železa a oceli. Cílem prvního projektu bylo odstranění těžkých neželezných kovů (zejména Zn, Pb a Cd), které brání přímé recyklaci těchto druhů odpadních surovin v metalurgii železa, pomocí hydrocyklonů. Výsledky těchto prací vyústily v praktickou aplikaci v největším hutním podniku severomoravského regionu [7, 8, 9]. Druhý projekt byl zaměřen na posouzení možností využití starých zátěží – skládek jemnozrnných metalurgických odpadů - na území moravskoslezského regionu. Byla zmapována jednotlivá úložiště těchto materiálů a vrtným průzkumem byly odebrány potřebné vzorky, které byly podrobeny rovněž separaci na hydrocyklonech. Dosažené výsledky byly samozřejmě poněkud horší, než v případě „čerstvých“ odpadních surovin. Jedním z důvodů této skutečnosti byla samozřejmě heterogenita materiálů, deponovaných na jednotlivých úložištích [10].

V současné době je zvýšená pozornost věnována možnostem zpracování zlatonosných surovin metodami gravitační úpravy s využitím odstředivých sil. Pro samotnou těžbu uvedených surovin jsou samozřejmě nejpříznivější podmínky v případě rýžovisk, kdy se kovy těží na povrchu z náplavů, nejméně příznivý případ pak představuje dobývání z velkých hloubek (3 km i více). Nezbytnou podmínkou získávání užitkového produktu s obsahem kovů je vhodná technologie úpravy

vytěžených rud, takže součástí těžebního komplexu jsou ve většině případů více či méně komplikovaná úpravnická zařízení. Vhodný postup úpravy zlatonosných rud závisí především na poměru zlata volného ke zlatu vázanému. Pro získání volného zlata jsou nejvhodnější gravitační metody rozdružování, založené na rozdílných hustotách jednotlivých složek suroviny. K získání zlata, vázaného na sulfidy neželezných kovů, je nutno používat postupy chemické úpravy (amalgamace, kyanizace, louhování v thiomocovině a jiných typech netoxických činidel), popřípadě kombinované s fyzikálně-chemickými metodami rozdružování (flotací) [11, 12].

Pro rozdružování zlatonosných rud (popřípadě rud platinových kovů) mohou být použity různé typy gravitačních rozdružovačů. Podmínky pro jejich fungování jsou dány značnými rozdíly v hustotách jednotlivých složek upravované suroviny (Au-19300 kg.m⁻³, Pt-21450 kg.m⁻³, Pd – 12002 kg.m⁻³; Rh – 12400 kg.m⁻³, neúžitkové podíly- 2600 až 3500 kg.m⁻³). Volba typu rozdružovače je determinována především způsobem prorůstání zlata do matečné horniny (a následně vhodnou metodikou zdrobňování) popřípadě velikostí částic ryzího zlata, přítomných v surovině (zlatinek). Pro hrubozrnnější suroviny se jako vhodná metoda jeví rozdružování na sazečkách, pro suroviny jemnozrnnější pak gravitační úprava na záchvějných splavech, popřípadě splavech kalových. Mezi modernější metody gravitační úpravy zlata a těžkých minerálů obecně je možno zařadit odstředivé rozdružovače, jejichž nasazení při úpravě zlatonosných rudnin zaznamenalo během posledních let velký rozmach. V současné je na Institutu hornického inženýrství řešen projekt tzv. specifického výzkumu, zabývající se problematikou úpravy zlatonosných rudnin jak domácí, tak zahraniční provenience. Experimenty jsou zaměřeny zejména na možnosti gravitační úpravy jemnozrnných zlatonosných surovin. Přitom je sledována jednak distribuce zlata do jednotlivých zrnitostních tříd (pomocí výše zmíněného zařízení Cyclosizer), jednak je sledován vliv jednotlivých parametrů odstředivého rozdružovače na výsledky separace. Dosažené výsledky budou moci být použity pro další úvahy o možném využití českých zlatonosných surovin bez využití chemických způsobů úpravy.

4. Závěr

Gravitační metody úpravy s doplňkovým působením odstředivých sil představují jednu z možností, jak racionálně zpracovat jemnozrnné nerostné i odpadní suroviny.

V příspěvku je podán stručný přehled výzkumných prací, prováděných v této oblasti na Institutu hornického inženýrství a bezpečnosti a bývalé katedře úpravnictví HGF, VŠB-TU Ostrava. Představují však jen zlomek prováděných prací, přesto však poukazují na poměrně široké aplikační možnosti tohoto způsobu úpravy.

Literatura

1. BOTULA, J., et al. Deposits of Iron Ores and the Possibilities their Utilization for the Production of mineral pigments. In *2nd International Symposium on Hydrocarbons & Chemistry*, Ghardaia: University of Boumerdes, 2004, pp. 27–41.
2. BOTULA, J., et al. Přírodní minerální pigmenty a možnosti jejich použití. *Minerální suroviny/Surowce mineralne*, 2004, no. 3, ISSN 1212-7248
3. BOTULA, J.; NOVOTNÁ, K.; RUCKÝ, P.: [Obtaining natural mineral Fe- and Ti-pigments from raw materials](#). In *XXIV International Mineral processing Congress 2008 (IMPC 08)*, Beijing, pp. 2060-2066, ISBN 978-7-03-022711-9.
4. BUNTENBACH, S., BOTULA, J., LEONHARDT, H. Evaluation of naturally occurring pigments of the North Bohemian lignite mining area. (Bewertung von mineralischen Pigmentvorkommen des nordböhmischen Braunkohlebeckens.). *WORLD OF MINING – SURFACE & UNDERGROUND*, 2010, , no. 6, pp. 348–354. ISSN 1613-2408.
5. BOTULA J., VIDLÁŘ J., KLEGA V. Klasifikace brusného perlitového materiálu pro výrobu stínítek BTO. In *Celostátní úpravnická konference*, Malenovice 1990
6. BOTULA J., KUDĚLÁSKOVÁ M. Mineralogie a technologie separace těžkých minerálů z perlitové suroviny. In *Přínos mineralogie k řešení průmyslových a ekologických problémů*. Nové Město na Moravě, 1990
7. ŘEPKA, V., BOTULA, J. Možnosti recyklace vysokopecních kalů. *Odpadové forum*, 2000, no.4, p. 13, ISSN 1212-7779

8. BOTULA, J., ŘEPKA,V., KRET, J. Recyklace jemnozrnných hutních odpadů. *Acta Metallurgica Slovaca*, 2001, no.7, pp.171-177, ISSN 1335-1532
9. BOTULA, J. Fyzikální a fyzikálně-chemické metody recyklace hutních odpadů. In *Technika ochrany prostředí (TOP 2002)*, Častá - Papiernička, 2002, pp.13 –16, Častá-Papiernička, ISBN 80-227-1692-8
10. ŘEPKA,V., BOTULA,J. Possibilities of recycling of fine-grained metallurgical wastes from old waste depots. *Transactions of the VSB-Technical University Ostrava. Mining and Geological Series*, 2005, no. 2, pp. 55-60, ISBN 80-248-0995-8
11. VIDLÁŘ, J. Moderní technologie úpravy rud zlata. In SCHEJBAL, C. (ed.). *Lidská společnost a zlato*. 1997, p. 24–36. ISBN 80-7078-440-7.
12. MARTÍNEK, K. Technologie těžby a zpracování zlaté rudy. In SCHEJBAL, C. (ed.). *Lidská společnost a nerostné surovinové zdroje*. 1997, p. 27–41. ISBN 80-7078-440-7

Příspěvek vznikl v rámci řešení projektu SP2012/60 „Rozdružování zlatonosných rud s využitím odstředivých sil“. Autoři děkují VŠB-TU Ostrava a MŠMT ČR za poskytnutí finanční podpory