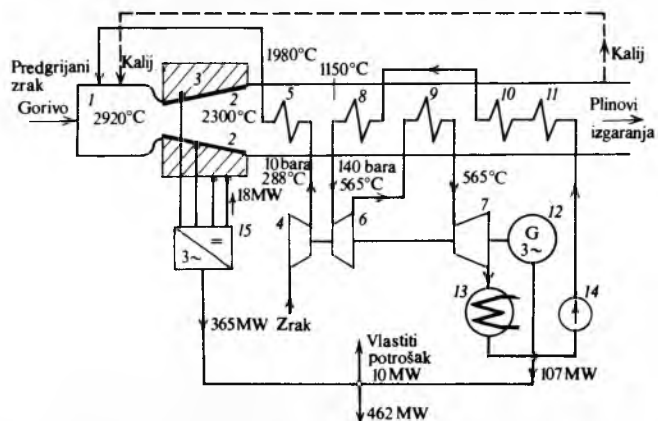


hidrodinamičkom generatoru, a dio u konvencionalnom postrojenju s parnom turbinom.

Na sl. 4 je shema jedne od mogućih izvedaba postrojenja otvorena tipa. Gorivo s predgrijanim zrakom i kalijem kao cjepivom dovodi se u komore za izgaranje, iz koje plinovi izgaranja struje u kanal magnetohidrodinamičkog generatora. Djelomično ohlađeni plinovi struje nakon izlaska iz kanala kroz predgrijač zraka, kroz pregrijač i međupregrijač pare, te, konačno, kroz isparivač i zagrijač vode, a na kraju se kroz dimnjak odvede u okolinu. Para proizvedena pomoću plinova služi za pogon parne turbine. Kompresor upija potrebni zrak iz okoline i tlači ga kroz predgrijač zraka u komoru izgaranja.



Sl. 4. Moguća izvedba magnetohidrodinamičkog generatora otvorenog ciklusa s fosilnim gorivom. 1 komora izgaranja, 2 elektrode, 3 uzbudni namot, 4 kompresor, 5 predgrijač zraka, 6 visokotlačna turbina, 7 niskotlačna turbina, 8 međupregrijač pare, 9 pregrijač, 10 isparivač, 11 zagrijač vode, 12 generator, 13 kondenzator, 14 pojna pumpa, 15 pretvarač

Kompresor tjera parnu turbinu, pa se dio snage proizvedene u turbini troši na to. Kanal magnetohidrodinamičkog generatora, kvadratična presjeka, u obliku sapnice, imao bi duljinu ~20 m, sa stranicama od 0,9 m na ulazu i 1,8 m na izlazu. U magnetohidrodinamičkom generatoru proizvodi se istosmjerna struja, pa je potreban uređaj za pretvorbu u trofaznu izmjeničnu struju.

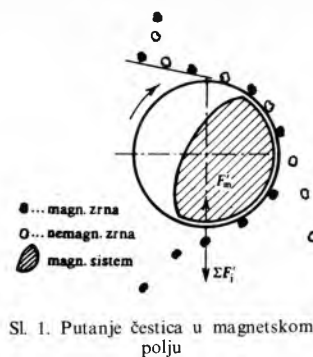
LIT.: R. A. Combe, Magnetohydrodynamic generation of electric power. Chapman and Hall, London 1964. — G. W. Sutton, A. Sherman, Engineering magnetohydrodynamic. McGraw-Hill, New York 1965. — G. J. Womack, MHD power generation. Chapman and Hall, London 1969. — H. Požar, Osnove energetike, drugi svezak. Školska knjiga, Zagreb 1978.

T. Bosanac

MAGNETSKA SEPARACIJA, postupak za odvajanje magnetičnih od nemagnetičnih tvari, jedna od metoda za oplemenjivanje mineralnih sirovina. Najčešće se primjenjuje za oplemenjivanje magnetitkih ruda željeza, rjeđe za oplemenjivanje ruda mangana, a potrebna je u regeneraciji suspenzija s magnetičnim suspenzoidima u koncentracijskim postupcima u teškim sredinama (v. *Gravitacijska koncentracija*, TE 6, str. 265). Ponekad se upotrebljava i za izdvajanje željeznih primjesa iz različitih materijala, npr. iz kremenog pijeska, keramičkih sirovina, ugljena, pa i namirnica.

Postupak se temelji na djelovanju mehaničkih sila magnetskog polja na mineralne čestice koje se razlikuju prema susceptibilnosti i permeabilnosti (v. *Elektrotehnički materijali*, TE 5, str. 52, i *Elektrotehnika*, TE 5, str. 125). Na sl. 1 prikazane su rezultantne putanje čestica u magnetskom polju na primjeru jednostavnog bubnjastog magnetskog separatora. Mehaničke sile F'_m magnetskog polja koje djeluje na magnetične čestice moraju biti veće od zbroja sila $\Sigma F'_i$ koje djeluju u suprotnom smjeru (gravitacijska i centrifugalna sila, sila trenja i prijanjanja), dok sile F''_m od djelovanja magnetskog polja na nemagnetične čestice moraju biti manje od sila $\Sigma F'_i$.

Za magnetsku separaciju upotrebljavaju se samo nehomogena magnetska polja, jer se samo u njima pojavljuju translatorne sile. U homogenom polju magnetična čestica praktično ostaje nepokretna: u čestici se, doduše, silnice zgušnjavaju pa nastoje da je usmjere ili u smjeru silnica ili okomito na njih, ali se ne pojavljuje rezultantna magnetska vlačna sila koja bi česticu pokrenula u bilo kojem smjeru (sl. 2a). U nehomogenom polju vlačne su sile jače u smjeru većeg zgušnjavanja silnica, pa će i čestica biti privučena u tom smjeru (sl. 2b). Specijalan je slučaj nehomogenog polja konvergentno polje u kojem će zrno biti snažno privučeno u smjeru konvergencije silnica (sl. 2c).



Sl. 1. Putanje čestica u magnetskom polju

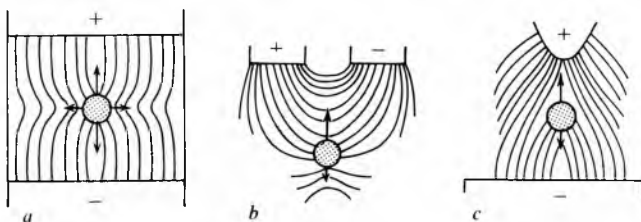
Označi li se jakost magnetskog polja sa H , nehomogenost se polja može prikazati izrazom dH/dx , koji pokazuje koliko se brzo mijenja jakost u smjeru x . To je *gradijent magnetskog polja* i označuje se sa $\text{grad } H$. Magnetomotorna je sila F_m koja djeluje na česticu u nehomogenom polju.

$$F_m = \mu_0 \kappa_s H \text{ grad } HV \tag{1}$$

gdje je μ_0 permeabilnost ($= 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ H/m}$), κ_s magnetska volumenska susceptibilnost (bez dimenzija), a V volumen čestice. Iz (1) proizlazi da će čestica biti privučena u smjeru koncentracije (zgušnjavanja) magnetskog polja kad je $\kappa_s > 0$, dok će čestica sa $\kappa_s < 0$ biti izbačena iz polja. Vrijednosti za $\kappa_s > 0$ odgovaraju tvarima s veoma izraženim magnetskim svojstvima, tzv. *paramagnetičnim* i *feromagnetičnim* tvarima, a vrijednosti za $\kappa_s < 0$ tvarima sa slabio izraženim magnetskim svojstvima, tzv. *dijamagnetičnim tvarima*. Reducira li se sila f_m na jedinicu mase, dobiva se izraz

$$f_m = \mu_0 \chi H \text{ grad } H, \tag{2}$$

gdje je χ masena susceptibilnost (u m^3/kg), a produkt $\mu_0 H \text{ grad } H$ naziva se *specifičnom magnetskom silom polja*.



Sl. 2. Čestice u magnetskom polju. a čestica u homogenom polju, b čestica u nehomogenom polju, c čestica u konvergentnom polju

Klasifikacija minerala prema magnetskim svojstvima u tehnološkoj praksi oplemenjivanja razlikuje se od one u fizici (v. *Elektrotehnički materijali*, TE 5, str. 52). Kad se promatra magnetska separacija, minerali se mogu svrstati u četiri grupe: a) veoma magnetični minerali, sa $\chi > 35 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{kg}$, koji se mogu preraditi u separatorima sa slabim magnetskim poljem (H do $1,2 \cdot 10^5 \text{ A/m}$); u tu grupu spadaju, npr., magnetit Fe_2O_3 , maghemit $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$, franklinit $(\text{Zn}, \text{Mn})\text{Fe}_2\text{O}_4$, pirotin FeS ; b) srednjomagnetični minerali, sa $\chi = 7,5 \cdot 35 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/\text{kg}$, koji se mogu preraditi u separatorima s poljem od $H = 2,4 \cdot 4,8 \cdot 10^5 \text{ A/m}$; u tu grupu mogu se ubrojiti martit i magnetit iz oksidacijskih zona ležišta; c) slabomagnetični minerali, sa

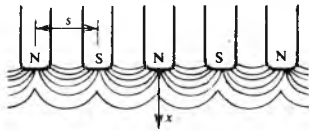
$\chi = 0,2 \dots 7,5 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/\text{kg}$, za koje je potrebno jako magnetsko polje ($H = 4,8 \dots 20 \cdot 10^5 \text{ A/m}$); tu spadaju spomenuti oksidni minerali željeza, mangana, titana i volframa te silikati koji sadrže željezo (granat, biotit, olivin, pirokseni); *d*) nemagnetični minerali, sa $\chi \leq 0,2 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/\text{kg}$, koji se ne mogu priređivati u magnetskom polju današnjih konstrukcija magnetskih separatora.

Magneti koji su se upotrebljavali u magnetskim separatorima bili su do nedavno elektromagneti s jakošću magnetskog polja $H = nI/l$, gdje je n broj zavoja svitka oko jezgre, l duljina svitka, a I jakost električne struje. Danas se sve više prelazi na upotrebu permanentnih magneta izvedenih od magnetskih tvrdih materijala (v. *Elektrotehnički materijali*, TE 5, str. 59). Prvi takvi materijali bili su ugljični čelici sa 1...1,5% ugljika koji su, kao magneti, postizali energetski produkt $(BH)_{\text{max}}$ do 1200 WbA/m^3 . Kasnije se prešlo na legure Al-Ni-Fe i Al-Ni-Co-Fe, s produktom $(BH)_{\text{max}}$ do 40000 WbA/m^3 , dok se danas sve više upotrebljavaju feritni magneti na bazi BaO-FeO u kojima se postiže znatno veći magnetski produkt, pa se, pri dovoljno maloj veličini čestica ($\sim 1,5 \mu\text{m}$), dostiže koercitivna sila do 160000 Nm .

Konstrukcija magneta separatora zavisi od tražene jakosti magnetskog polja. Separatori sa slabim magnetskim poljem imaju magnetske polove obično u jednoj ravnini (sl. 3), čime se dobiva nehomogeno polje (sl. 2a), a jakost je polja H uzduž osi simetrije pola

$$H = H_0 e^{-cx}, \quad (3)$$

gdje je H_0 jakost polja pod samim polom, e baza prirodnih logaritama, x udaljenost čestice od pola, a c koeficijent nehomogenosti koji zavisi od rasporeda polova.



Sl. 3. Raspored polova u ravnini u separatoru sa slabim magnetskim poljem (otvoreni magnetski sistem)

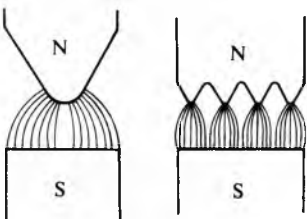
Za polove u jednoj ravnini iznosi $c = \pi/s$, a za polove raspoređene na plaštu bubnja (kao na sl. 6 i 12) $c = \pi/s + 1/R$, gdje je s razmak među simetrijskim ravninama dvaju susjednih polova, a R polumjer valjka bubnja.

Iz (3) slijedi da se jakost polja brzo smanjuje s udaljenošću od vrha pola, što znači da se samo sortiranje mora obaviti blizu njega. Zato se preporučuje da se polovi postave tako da se postigne sljedeća zavisnost koeficijenta c : za polove u jednoj ravnini $c = \pi/s = 1/(2\delta + d)$, a za polove na plaštu bubnja $c = \pi/s + 1/R = 1/(2\delta + d)$, gdje je δ razmak transportnog sredstva (npr. trake) od vrha pola, a d veličina tretirane čestice.

U separatorima s jakim magnetskim poljem (sl. 4) polovi su obično smješteni jedan nasuprot drugome, tako da jedan od polova ima oblik klina s kutom od $45 \dots 90^\circ$ (v. i sl. 2c). Jakost je polja H uzduž osi simetrije pola

$$H = \frac{H_0}{1 - c \left(\frac{s/2 - x}{s/2} \right)^n} \quad (4)$$

gdje je H_0 jakost polja ispod vrha pola, s udaljenost među polovima, x udaljenost od vrha pola, a n konstanta koja ima



Sl. 4. Raspored polova u separatoru s jakim magnetskim poljem (zatvoreni magnetski sistem)

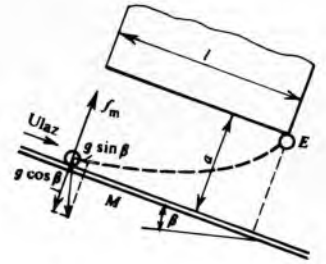
vrijednost $1,5 \dots 2$. I u ovim separatorima transportni uređaj koji nosi tretirane čestice mora biti u blizini polova.

Dinamika kretanja čestice određena je djelovanjem mehaničkih sila magnetskog polja te sila u gravitacijskom centrifugalnom polju. Uz pretpostavku da se prerađuju samo dvije vrste magnetskih minerala — sa susceptibilnošću χ_1 i χ_2 — pri konstantnoj specifičnoj magnetskoj sili polja postoje sljedeći uvjeti za razdvajanje obaju minerala:

$$f_m^1 = \mu_0 \chi_1 H \text{grad } H > f_{\text{meh}}^1 \quad (5a)$$

$$f_m^2 = \mu_0 \chi_2 H \text{grad } H < f_{\text{meh}}^2 \quad (5b)$$

gdje je f_m magnetska, a f_{meh} mehanička sila. Mehaničke sile f_{meh} zavise od načina transporta čestice u magnetsko polje te od medija u kojem se separiranje odvija (zrak, odnosno voda; suha, odnosno mokra separacija). Mehaničke sile magnetskog polja f_m zavise od konstruktivnih karakteristika polova, vrste magneta i jakosti polja H te od svojstava tretiranih čestica.



Sl. 5. Transport materijala ispod magneta

Ako se materijal transportira ispod magneta (sl. 5), npr. gumenom transportnom trakom ili vibracijskim žlijebom, za udaljenost između trake i magneta, odnosno za duljinu magneta, važe sljedeće relacije:

$$a = (f_m - g \cos \beta) \frac{t_1^2}{2} \quad (6)$$

$$l = g \sin \beta \frac{t_2^2}{2} + v_0 t_2, \quad (7)$$

gdje je v_0 brzina trake na ulazu u magnetsko polje, t_1 i t_2 su vremena potrebna da čestica prijeđe put a , odnosno l , g je ubrzanje zemaljske teže, a β kut nagiba transportne trake ili vibracijskog žlijeba. Ako je $t_1 = t_2$, minimalna je specifična magnetska sila potrebna za izdvajanje čestica.

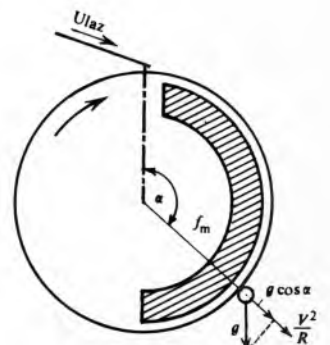
$$f_m \geq g \cos \beta + \frac{a}{l^2} \left[v_0^2 + l g \sin \beta + v_0 \sqrt{v_0^2 + 2 l g \sin \beta} \right] \quad (8)$$

Pri horizontalnom transportu ($\beta = 0$), jednadžba (8) pojednostavnjuje se u izraz:

$$f_m \geq g + \frac{2 a v_0^2}{l^2} \quad (9)$$

Kad je magnet smješten na plaštu bubnja s polumjerom R i obodnom brzinom v (sl. 6), djelovat će osim gravitacijske još i centrifugalna sila, pa će specifična magnetska sila biti:

$$f_m \geq \frac{v^2}{R} + g \cos \alpha. \quad (10)$$



Sl. 6. Transport materijala iznad magneta.

U mokrim magnetskim separatorima, u kojima se čestice transportiraju vodom, otpor se medija ne može zanemariti. Specifična magnetska sila dobiva se tada iz dinamičke jednadžbe kretanja čestica (v. *Klasiranje*):

$$f_m \geq \frac{\rho_1 - \rho_2}{\rho_1} g + \frac{18 \eta a v_0}{l \rho_1 d^2}, \quad (11)$$

gdje je ρ_1 gustoća čestice, ρ_2 gustoća medija, η dinamička viskoznost medija, v_0 brzina strujanja medija, a udaljenost razine medija od pola, d veličina čestice, a l duljina puta.

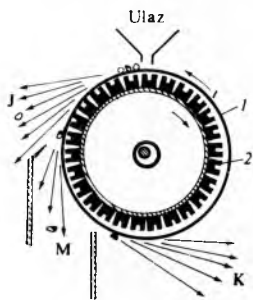
Kapacitet magnetskih separatora zavisi od veličine tretiranih čestica, količine magnetičnih čestica u sirovini, brzine transporta kroz separacijski prostor i brzine kojom se čestice transportiraju k polovima separatora. Približan specifični kapacitet po cm širine magneta može se odrediti jednadžbom:

$$Q = 3,6 \alpha v \rho d_m \left(\frac{\text{kg}}{\text{h cm}} \right), \quad (12)$$

gdje je v brzina transporta čestica (m/s), ρ gustoća sirovine (g/cm^3), d_m srednja veličina tretiranih čestica (cm), a α koeficijent koji označuje magnetska svojstva sirovine.

Vrste magnetskih separatora. Magnetski separatori mogu se svrstati prema različitim kriterijima, npr. prema jakosti magnetskog polja, magnetskom sistemu, radnom mediju, sistemu transporta kroz magnetsko polje. Kako se separatori moraju prilagoditi magnetskoj susceptibilnosti tretiranog materijala, najsvrsishodnija je podjela na separatore sa slabim i na separatore s jakim magnetskim poljem.

Magnetski separatori sa slabim magnetskim poljem ili nisko-intenzivni separatori veoma se mnogo upotrebljavaju za izdvajanje paramagnetičnih i feromagnetičnih materijala, dakle za veoma magnetične sirovine. Suhu separatori upotrebljavaju se za krupnije frakcije, a mokri za sitnije frakcije. Konstruktivno su to većinom *bubnjasti separatori* s permanentnim magnetima. U posljednje se vrijeme širi upotreba tvrdomagnetičnih materijala tipa SECO_5 , gdje je SE simbol za itrij ili neku drugu rijetku zemlju. Tada se postiže $(BH)_{\text{max}}$ od 100 do 300 kJ/m^3 i indukcija $B_R \approx 0,8 \text{ T}$. Industrijski bubnjasti separatori za suhu rad imaju nekoliko paralelno smještenih magneta koji djeluju na približno 180° opsega bubnja. Bubnjevi su od nemagnetičnog materijala, a istosmjerna se struja (napon 110 ili 220 V) dovodi elektromagnetima kroz osovinu bubnja. Promjer bubnja iznosi $300 \dots 1000 \text{ mm}$, duljina do 2000 mm , a brzina vrtnje $20 \dots 70 \text{ min}^{-1}$.

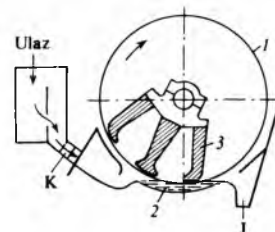


Sl. 7. Nisko-intenzivni bubnjasti separator za suhu rad tipa ORF. 1 bubanj, 2 permanentni magneti, K magnetični produkt (koncentrat), M međuprodukt, J nemagnetični produkt (jalovina)

U suhim se bubnjastim separatorima može preraditi materijal granulacije $1 \dots 100 \text{ mm}$, a u mokrim od $0,074 \dots 2,4 \text{ mm}$ (može se izdvojiti 90% najsitnijih čestica). Za sitne čestice dolaze u obzir brzorotirajući bubnjasti separatori s polovima naizmjeničnog polariteta, kakvi su npr. separatori tipa *Laurila* ili *ORF* (Ontario Research Foundation, sl. 7). Razmak među polovima treba da bude barem 5 puta veći od maksimalnog promjera tretiranih čestica. U separatoru tipa ORF točak s magnetima ekscentrično je učvršćen, pa se tako zbog slabljenja magnetskih sila odozgo (od ulaza) naniže mogu dobiti tri različita produkta, kako je to prikazano na sl. 7. Brzorotirajući separatori rade s brzinom vrtnje od $100 \dots 400 \text{ min}^{-1}$, pri promjeru bubnja od $400 \dots 600 \text{ mm}$; kapacitet je takvih separatora od $8 \dots 20 \text{ t/h}$ po metru duljine bubnja.

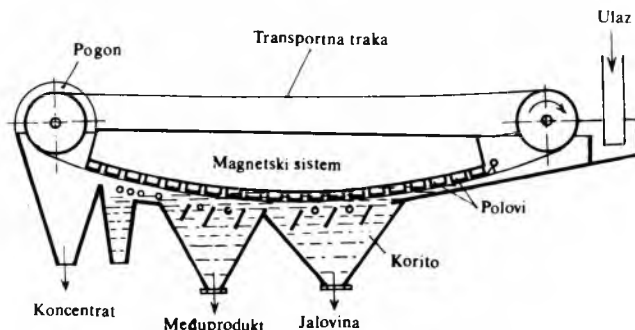
Slabomagnetski bubnjevi za mokri rad izrađeni su od nemagnetičkog materijala (mahom austenitnog čelika), imaju promjer

od $400 \dots 900 \text{ mm}$, a duljine im danas dostižu već i 4 m . Magnetski se sistemi sastoje od $3 \dots 7$ pari polova. Pulpa s materijalom za separiranje dodaje se ili u smjeru kretanja bubnja ili suprotno tome kretanju; posljednje daje bolje tehnološko iskorištenje. Na sl. 8 prikazan je shematski takav bubnjasti separator s protustrujnim dodavanjem. Bubnjevi rotiraju brzinom vrtnje $30 \dots 40 \text{ min}^{-1}$, a kapacitet iznosi $3 \dots 70 \text{ t/h}$ po metru, što zavisi od granulacije tretiranog materijala. Koncentracija je čvrste faze u pulpi $20 \dots 50\%$.



Sl. 8. Nisko-intenzivni bubnjasti separator za mokri rad. 1 bubanj, 2 korito, 3 magnetski sistem, K koncentrat, J jalovina

Osim bubnjastih separatora, za mokri se rad upotrebljavaju još i *tračni separatori* s visećim magnetima (sl. 9). Donji dio transportne trake prolazi kroz pulpu u koritu i za nj odozdo prijanjaju magnetične i slabomagnetične čestice. Magnetične čestice nosi traka sve dok se ona nalazi u magnetskom polju. Kad te čestice izidu iz magnetskog polja, one kao koncentrat ispadaju iz separatora, dok nemagnetične čestice (jalovina) neometano od djelovanja magnetskog polja ispadaju odmah kroz prvi ispust. Slabomagnetične su čestice međuprodukt, te njihov magnetsko polje drži samo kratko vrijeme, tako da se ispuštaju kroz srednji ispust. Suvremeni separatori tračnog tipa dugi su $\sim 2 \text{ m}$, s trakom širine $\sim 1,5 \text{ m}$, a prerađuju materijal s granulacijom od $\sim 6 \text{ mm}$. Kako zauzimaju više prostora od bubnjastih separatora sličnog kapaciteta, a slabiji su od njih u pogledu tehnoloških rezultata, naročito kad se prerađuju sitnije frakcije ($0,15 \text{ mm}$), oni se sve više zamjenjuju bubnjastim separatorima. To važi i za područje regeneracije suspenzije u separacijama s teškim sredinama, gdje su doskora tračni separatori bili gotovo nenadomjestivi.



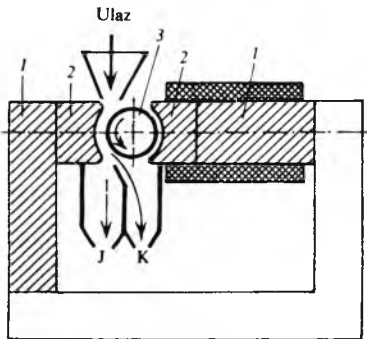
Sl. 9. Nisko-intenzivni tračni separator za mokri rad

Magnetski separatori s jakim magnetskim poljem ili visoko-intenzivni separatori upotrebljavaju se za oplemenjivanje slabomagnetičnih sirovina, iako je takav postupak relativno skup. U obzir dolaze sideritne i limonitne rude željeza, rude mangana, a takvi se separatori primjenjuju i za čišćenje keramičkih i staklarskih sirovina te za razdvajanje minerala titana, cirkona i rutila. Upotrebom novih materijala za izolaciju magnetskih svitaka (poliesteri, epoksidne i silikonske smole) moguće je povećati jakost polja do $1,6 \text{ MA/m}$. Važan su napredak magnetski namoti sa supravodljivim materijalima. Tada se može postići jakost polja i do 10 MA/m .

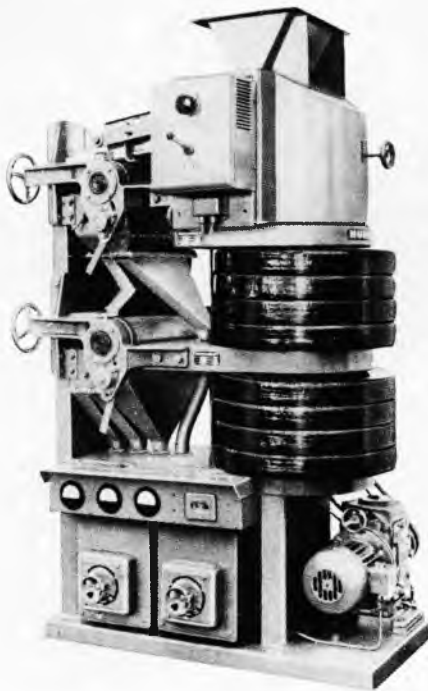
Separatori s jakim magnetskim poljem također mogu biti i *suhu* i *mokri*. Suhu su gotovo jedino indukcijski valjkasti separatori, a mokrih ima i s valjcima i s bubnjevima, ali se u suvremenoj praksi sve više prelazi na primjenu separatora s prstenastim radnim elementom.

Indukcijski valjkasti magnetski separatori upotrebljavaju se uglavnom za suho oplemenjivanje slabomagnetičnih (sideritnih i limonitnih) željeznih ruda. Separator se sastoji od zatvorenog

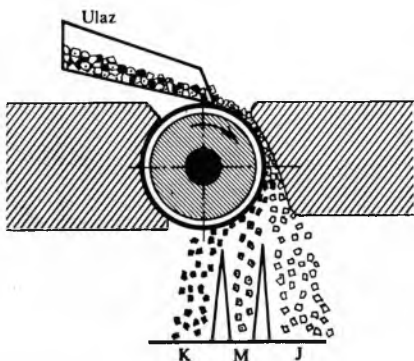
magnetskog sistema koji je na jednom ili na dva mjesta prekinut radi smještaja indukcijskih valjaka. Princip rada takva separatora prikazan je na sl. 10, a na sl. 11 vidi se industrijska izvedba. Postoji mnogo konstruktivno različitih tipova. Uglavnom se primjenjuju izvedbe s dodavanjem materijala odozgo (sl. 12), ali se za dobivanje posebno kvalitetnog magnetskog koncentrata upotrebljavaju i izvedbe s dodavanjem odozdo (sl. 13). Indukcijski valjkasti separatori podesni su za preradbu materijala granulacije od 10...0,02 mm. Kapacitet zavisi od duljine valjka (do 750 mm) i granulacije sirovine, a iznosi 8...50 t/h.



Sl. 10. Indukcijski valjkasti separator, shematski. 1 magnetski sistem, 2 polovi, 3 indukcijski valjak, K koncentrat, J jalovina

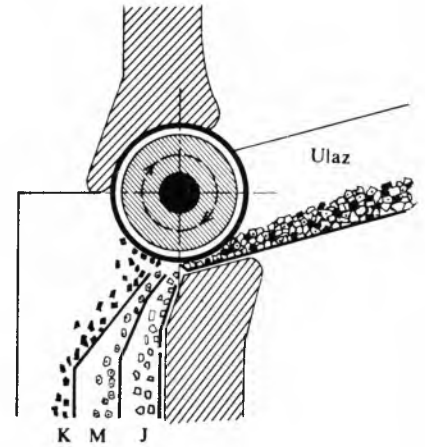


Sl. 11. Visokointenzivni indukcijski valjkasti separator sa dva separacijska stepena

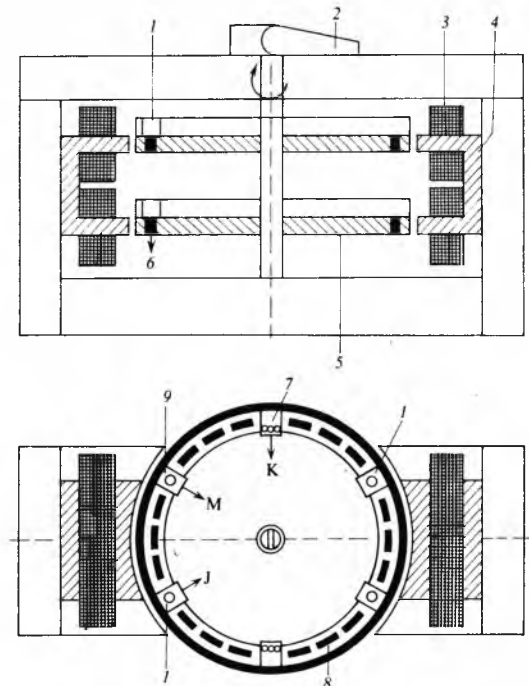


Sl. 12. Shema indukcijskog valjka kod visokointenzivnog separatora s dodavanjem materijala odozgo. K koncentrat, M međuprodukt, J jalovina

Sl. 13. Shema indukcijskog valjka s dodavanjem materijala odozdo. K koncentrat, M međuprodukt, J jalovina



Industrijski mokri visokointenzivni magnetski separatori razvijeni su tek u posljednjih dvadesetak godina, i to u prvom redu radi oplemenjivanja sitnozmatih siromašnih slabomagnetičnih ruda željeza. Jedan je od prvih tzv. poligradijenti separator tipa Jones (sl. 14). Separator Jones patentiran je 1955. godine u Engleskoj, a industrijski testiran prvi put 1959. u Kanadi, i to za višestruku primjenu: odvajanje granata od kvarca, izdvajanje željeznih primjesa iz sedimentnih i magnetskih stijena, izdvajanje zeolita iz magnetskih stijena, oplemenjivanje grafita, apatita, hematita, talka. Danas se separator Jones primjenjuje za oplemenjivanje siromašnih slabomagnetičnih ruda željeza granulacije 1...0,07 mm, a dolazi u obzir i za preradbu starih jalovišta sa slabomagnetičnim primjesama. Glavni je dio separatora pločasti rotor koji se polako okreće između dva nasuprot smještena magnetska sistema. Na obodu rotora nalaze se, gore i dolje, otvorene kasete u koje su montirani gusti paketi feromagnetskih limova; u kasetama se odvija proces separacije.

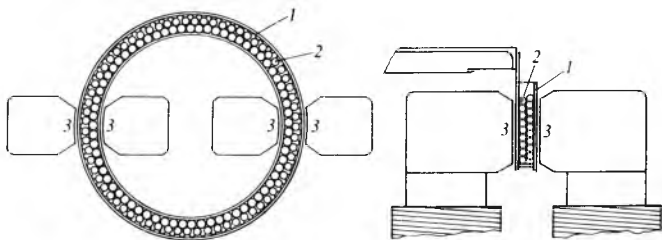


Sl. 14. Visokointenzivni separator za mokri rad tipa Jones. 1 ulaz, 2 pogon, 3 magnetski svitak, 4 magnetska jezgra, 5 rotor, 6 ispust, 7 voda za spiranje koncentrata, 8 separacijske kasete, 9 voda za spiranje međuprodukta, K koncentrat, M međuprodukt, J jalovina

Materijal (u obliku pulpe), dodaje se odozgo te prolazi kroz kasete, pri čemu nemagnetična komponenta neometano protječe u ispust za jalovinu. Magnetična komponenta magnetizira se prilikom prolaska kroz magnetsko polje, prione za limove u

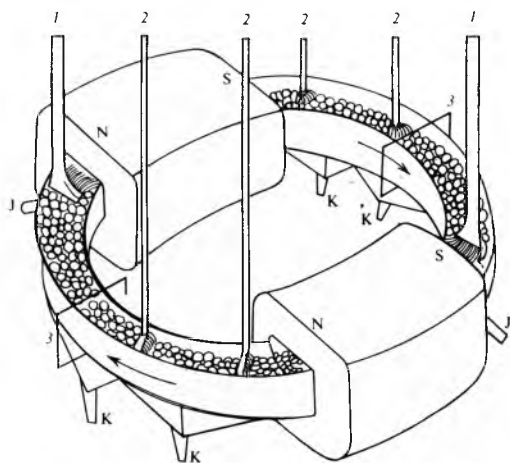
kasetama i konačno se ispiru vodom, u zavisnosti od inducirane magnetičnosti, nakon izlaska iz magnetskog polja kroz ispušni za međuprodukte, odnosno koncentrat. Moderni separatori tipa Jones imaju dva rotora, tako da se, kad je to potrebno, međuprodukt iz gornjeg može preraditi još i u donjem rotoru. Izrađuju se za kapacitet do 120 t/h.

U traženju najpogodnijih oblika čestica feromagnetičnih materijala utvrđeno je da su kuglice najpovoljniji oblik. To je saznanje prvi put primijenjeno u separatoru tipa Carpc-Amax (sl. 15) početkom šezdesetih godina. Prsten (1) napunjen kuglama (2) od magnetski mekog željeza rotira između dvaju jakih magneteta (3). Magnetična komponenta materijala u pulpi, koja je dovedena odozgo, prionut će na prsten u magnetskom polju, dok će nemagnetična komponenta propasti kroz izbušeno dno prstena (1). Koncentrat se ispira vodom nakon izlaska iz polja.



Sl. 15. Visokointenzivni prstenasti separator za mokri rad tipa Carpc-Amax

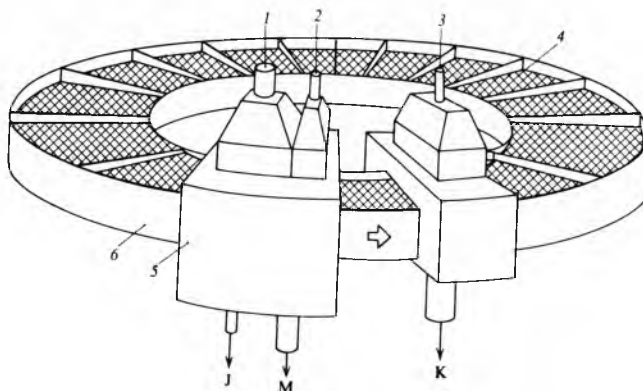
Takvi separatori upotrebljavaju se npr. za oplemenjivanje sjevernoameričkih željezovitih takonita. Slični su, po principu i konstrukciji, separatori tipa Krupp-Sol (sl. 16 i 17). U radnom prstenu visokogradijentnog separatora (sl. 17) nalazi se matrica od pustnog feromagnetičnog materijala u obliku komprimirane čelične vune s poroznošću od 95%. U području zasićenosti matrice, gradijent magnetskog polja veći je za 10^3 puta nego u običnim sistemima, pa se postiže 10^{11} A/m². Magnetična komponenta materijala zadržat će se u tom poroznom materijalu, dok će nemagnetična propasti. I u tim separatorima magnetične se čestice ispiru vodom. Takvi su separatori namijenjeni, npr., za čišćenje kaolina ili kremenog pijeska od veoma sitnih magnetitkih primjesa.



Sl. 16. Visokointenzivni prstenasti separator za mokri rad tipa Krupp-Sol. 1 ulaz, 2 voda, 3 neutralna zona, K koncentrat, J jalovina

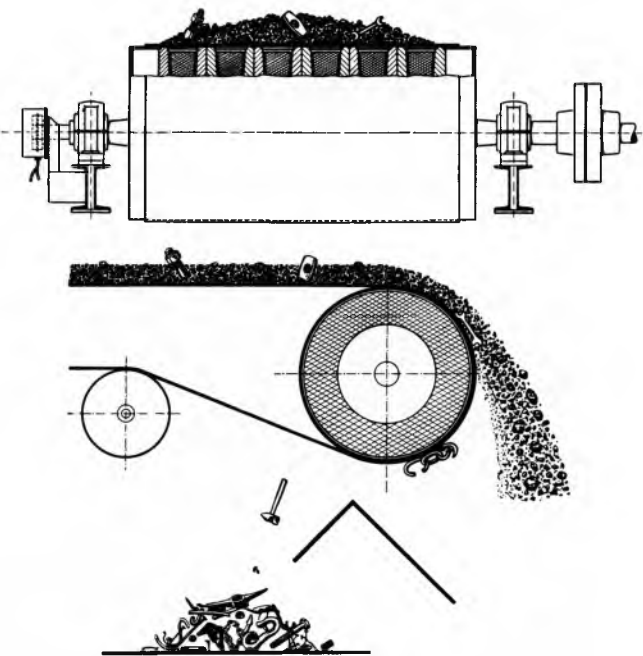
Uređaji za magnetiziranje i demagnetiziranje, magnetizatori i demagnetizatori, namijenjeni su za magnetizaciju muljevutih feromagnetičnih materijala radi tvorbe aglomerata (flokula), kako bi se flokulirani materijali brže istaložili iz pulpe. Suprotno tome, demagnetizacija služi razbijanju nastalih flokula, naročito magnetičnih suspenzoida u procesu regeneracije suspenzija u separacijama u teškim sredinama. Takvi se uređaji

sastoje od elektromagnetskih svitaka namotanih oko cijevi od nemagnetičnog materijala kroz koju protječe suspenzija s feromagnetičnim česticama. Kroz svitak magnetizatora teče istosmjerna, a kroz svitak demagnetizatora izmjenična struja. Jakost magnetskog polja u oba uređaja iznosi do 30000 A/m.



Sl. 17. Visokogradijentni separator za mokri rad tipa Sala. 1 ulaz, 2 pogonska voda, 3 voda za spiranje, 4 matrica, 5 solenoid, 6 obroč s matricom, K koncentrat, M međuprodukt, J jalovina

Uređaji za izdvajanje željeza, odnosno željeznih predmeta, najviše se upotrebljavaju za izdvajanje željeza s transportnih traka, i to kao viseći magneti ili magnetski valjci na kraju, odnosno na presipnim mjestima takvih traka. Oni su potrebni ispred velikih drobilica kako bi se spriječio ulazak nedrobljivih željeznih predmeta slučajno pomiješanih sa sirovinom za preradbu. Magnetski sistem može biti ili elektromagnet ili permanentni magnet koji je ugrađen u krajnji valjak (sl. 18) ili zavješten iznad njega.



Sl. 18. Magnetski uređaj za izdvajanje željeznih predmeta

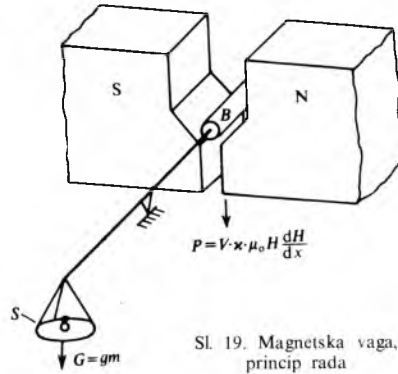
Laboratorijski uređaji. Za mineralne čestice predviđene za magnetsku separaciju potrebno je odrediti magnetska svojstva, kao što su susceptibilnost ili intenzitet magnetizacije, te ustanoviti sadržaj feromagnetičnih materijala ili količinu pojedinih magnetičnih frakcija. U te se svrhe najčešće upotrebljavaju magnetske vage, izodinamički separatori i magnetski analizatori, npr. sistema Carpc, Davis ili domaće konstrukcije IJS.

Magnetska vaga (sl. 19) temelji se na principu mjerenja sile koja djeluje na uzorak B u magnetskom polju. Svako mag-

netično tijelo može se smatrati dipolom s magnetskim momentom $M = IV$, gdje je I magnetizacija, a V volumen tijela. I je funkcija jakosti polja H , pa je

$$I = \kappa \mu_0 H. \quad (13)$$

U nehomogenim magnetskim poljima na magnetska tijela djeluje sila F proporcionalna magnetskom momentu M i gradijentu magnetske jakosti polja, pa se dobiva sila prema relaciji (1). Ta je relacija osnova za mjerenje u svim magnetskim vagama. Pri mjerenju se uzorak B nalazi na jednom, a uteži S na drugom kraku poluge. Sila F_m određuje se vaganjem tako da se pri poznatom volumenu te izmjerenim H i grad H mogu odrediti ili magnetizacija I ili susceptibilnost κ .



Sl. 19. Magnetska vaga, princip rada

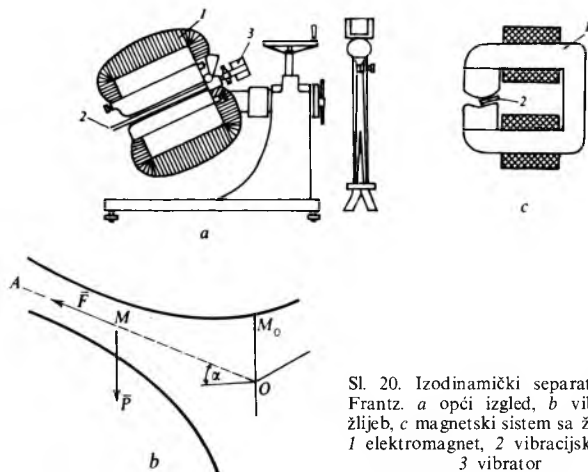
Izodinamički separator Frantz (sl. 20) namijenjen je za magnetsko frakcioniranje, i to za podjelu na frakcije jednake susceptibilnosti, ili pak za izdvajanje čistih minerala. U magnetskom polju jakog elektromagneta I koso je namješten vibracijski žlijeb 2 . Na česticu koja se tim žlijebom kreće uzduž osi $A-O$ (sl. 20 b) djeluje gravitacijska sila P i magnetomotorna sila F :

$$F = C \kappa V I^2, \quad (14)$$

gdje je C konstanta (to je sila koja djeluje na česticu susceptibilnošću 1), κ susceptibilnost čestice, V volumen čestice, a I jakost struje. Podesi li se nagib žlijeba tako da su gravitacijska i magnetomotorna sila jednake:

$$C \kappa V I^2 = V \rho g \sin \alpha, \quad (15)$$

gdje je ρ gustoća zrna, na osnovi jednadžbe (15) može se odrediti vrijednost susceptibilnosti za pojedine vrste čestica.



Sl. 20. Izodinamički separator tipa Frantz. a opći izgled, b vibracijski žlijeb, c magnetski sistem sa žlijebom, 1 elektromagnet, 2 vibracijski žlijeb, 3 vibrator

Ferometar je aparat za određivanje elementarnog željeza ili drugih metala u nemetalnim materijalima. Uzorak se stavlja u svitak koji je dio Wheatstoneova mosta. Zbog prisutnosti metala u uzorku mijenja se permeabilnost, a time i impedancija svitka,

pa će se zbog toga javiti napon u srednjoj grani Wheatstoneova mosta. Promjene se napona pojačavaju i, obično, digitalno prikazuju.

LIT.: V. G. Derkatsch, Die magnetische Aufbereitung schwachmagnetischer Erze. VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig 1960. — A. F. Taggart, Handbook of mineral dressing. Ores and industrial minerals. John Wiley, New York 1960. — B. II. Кармазин, Современные методы магнитного обогащения руд черных металлов. Госгортехиздат, Москва 1962. — H. Schubert, Aufbereitung fester mineralischer Rohstoffe, Band II. VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig 1967. — P. Blazy, La valorisation des minéraux. Presses Universitaires de France, Paris 1970.

D. Osepek

MAGNEZIJI, magnezijum (magnesium), Mg, hemijski element sa atomskim brojem 12, relativnom atomskom težinom 24,305, drugi po redu u IIA grupi periodnog sistema. Prirodni magnezijum sastoji se iz 3 stabilna izotopa: ^{24}Mg (78,99%), ^{25}Mg (10,00%) i ^{26}Mg (11,01%). Poznato je više veštačkih radioaktivnih izotopa, među kojima najduže žive ^{23}Mg (vreme poluraspada 12,3 s), ^{27}Mg (9,45 min) i ^{28}Mg (21,2 h). Poslednji izotop može se koristiti kao obeleživač. Elektronska konfiguracija atoma magnezijuma jest $1s^2, 2s^2, 2p^6, 3s^2$. Energija jonizacije prema shemi: $\text{Mg}^0 \rightarrow \text{Mg}^+ \rightarrow \text{Mg}^{2+} \rightarrow \text{Mg}^{3+} \rightarrow \text{Mg}^{4+} \rightarrow \text{Mg}^{5+}$ iznosi $1,22 \cdot 10^{-18}$ J, $2,40 \cdot 10^{-18}$ J, $1,28 \cdot 10^{-17}$ J, $1,74 \cdot 10^{-17}$ J i $2,25 \cdot 10^{-17}$ J (7,64 eV, 15,03 eV, 80,12 eV, 109,29 eV i 141,23 eV). Presek zahvata toplotnih neutrona magnezijumova atoma iznosi $5,9 \cdot 10^{-30}$ m² (0,059 barna).

H. Davy je 1808. godine uz pomoć Voltina članka dobio amalgam magnezijuma, koji je tako nazvan po mineralu magnezitu. Metalni magnezijum prvi je dobio A. Bussy 1828. godine dejstvom kalijumovih para na rastopljeni magnezijum-hlorid. Kasnije su H. Sainte-Claire Deville i H. Caron prvi dobili metalni magnezijum u većim količinama redukcijom rastopa magnezijum-hlorida metalnim natrijumom u prisustvu kalcijum-fluorida kao topitelja. Oni su prvi izveli destilaciju magnezijuma u atmosferi vodonika sa ciljem dobijanja čistog metala. Magnezijum je postao tehnički metal u pravom smislu reči tek pošto je razvijen elektrolitički postupak za njegovo dobijanje. Godine 1830. M. Faraday je bio prvi koji je dobio elementarni magnezijum elektrolizom. Elektrolitički postupak je i dalje razvijan i usavršavan, i to je danas najvažniji industrijski postupak za dobijanje metalnog magnezijuma. Od 1930. godine razvijaju se postupci dobijanja metalnog magnezijuma redukcijom magnezijum-oksida metalima (metalotermijski postupak) i ugljenikom (ugljenotermijski postupak).

Sadržaj magnezijuma u Zemljinoj kori iznosi 2,10%, pa je on vrlo rasprostranjen i među hemijskim elementima zauzima šesto mesto. U prirodi ga nema u elementarnom stanju. U primarnim rudnim mineralima magnezijum se javlja u sastavu silikatih minerala, među kojima preovlađuje forsterit, Mg_2SiO_4 (34,6%), koji obično uz Mg_2SiO_4 sadrži izomorfno primešani fajalit, Fe_2SiO_4 . Kao osnovni mineral jalovine olivin u sastavu dunita i peridotita obrazuje masive u kojima se nalaze važna nalazišta hroma, nikla i platine. Preobražajem olivina nastaju široko rasprostranjeni serpentiniti sa veoma čestim mineralom serpentinom, $(\text{SiO}_4)_2\text{Mg}_2/\text{Mg}(\text{OH})/\text{H}_3$ (26,3% Mg), u kojima je magnezijum delimično zamenjen železom ili niklom. Serpentiniti sa vlaknastom strukturom su azbesti. Ti minerali u zemljama siromašnim magnezitima služe kao sirovine za dobijanje magnezijum-oksida. Dejstvom površinskih voda na olivine i serpentinite obrazuju se ležišta amorfno magnezita. Pri potpunom razlaganju serpentinita vrelim dubinskim vodama koje sadrže ugljen-dioksid nastaje kristalni magnezit, MgCO_3 (28,8% Mg), sa izomornim primesama drugih karbonata. Magnezitima su bogati SSSR, Kina, Koreja, Indija, Čehoslovačka, Austrija, Grčka i niz drugih zemalja. Pod dejstvom sonih rastvora, koji sadrže magnezijum-hlorid, krečnjaci prelaze u dolomit, $\text{MgCO}_3 \cdot \text{CaCO}_3$ (13,2% Mg). Oko 40% svih karbonatnih stena Zemljine kore su dolomiti. Magneziti i dolomiti osnovne su sirovine za proizvodnju baznih vatrostalnih materijala. Oni služe i kao polazne sirovine za proizvodnju metalnog magnezijuma, bilo neposredno ili posle pripreme (prevođenja u magnezijum-oxid ili u magnezijum-hlorid). Kao izvor magnezijum-hlorida i magnezijum-oksida služe takođe slane vode, i to morske vode (do 0,38% MgCl_2) do ostataka isušanih mora (do 30% MgCl_2).