

1,0–2,0 mm. Određena količina standardnog maltera nabija se u kalupe pomoću standardnog nabijača. Poslije stvrdnjavanja kroz 24 sata u vlažnom prostoru prizme se vade iz kalupa i stavljaju u pijaču vodu od 20 °C. One se ispituju obično poslije 3, 7 i 28 dana otkako su načinjene. Najprije se ispituje otpornost na savijanje prizme, a dva dijela prizme koji ostaju poslije preloma ispituju se na otpornost na pritisak. Mehaničke otpornosti izražavaju se u kp/cm^2 . Mehaničke otpornosti dobivene s plastičnim standardnim malterom, prema novom standardu za cement, bolje odgovaraju otpornostima koje se postižu običnim armiranim betonom na gradilištu nego otpornosti dobivene s ranijim zemno-suhim malterom po starim normama za cement iz godine 1931. Otpornost na pritisak plastičnog betona sa 300 kg/m^3 cementa nakon 28 dana odgovara približno otpornosti na pritisak standardnog maltera nakon 7 dana. Minimalne mehaničke otpornosti koje treba da postignu portland-cementi i njima odgovarajući cementi s dodatkom zgre ili pucolana, metalurški i pucolanski cementi, jesu ove (u kp/cm^2):

Naziv portland-cementa	Poslije 3 dana		Poslije 7 dana		Poslije 28 dana	
	čvrstoća na		čvrstoća na		čvrstoća na	
	savijanje	pritisak	savijanje	pritisak	savijanje	pritisak
PC-250	—	—	30	160	45	250
PC-350	—	—	40	250	55	350
PC-450	35	250	45	350	60	450

Minimalne otpornosti i drugi zahtjevi kvaliteta cementa jugoslovenskog standarda podudaraju se sa zahtjevima drugih novih svjetskih standarda za cement.

LIT.: A. Rehniger, Tehnologija cementa, Beograd 1948. — R. F. Blanks, H. L. Kennedy, The technology of cement and concrete, New York 1955. — F. M. Lea, The chemistry of cement and concrete, London 1956. — I. Ahrends, W. Cieslinski, Tehnologija cementa, Warszawa 1956. — H. Kühl, Zement-Chemie, Bd. I, II, III, Berlin 1958. — A. Lebl, Beočinska kaja, Novi Sad 1959. — Jugoslavenski standardi. Klasifikacija i uslovi kvaliteta cementa proizvedenih od portland-cementnog klinkera, JUS B. C. 1.011, III-1963, Aluminatni cementi, JUS B. C. 1.015, III-1963. — H. Kühl, Der Baustoff Zement, Berlin 1963. — H. E. W. Taylor, The chemistry of cements, New York 1964. *ž. Dreksler*

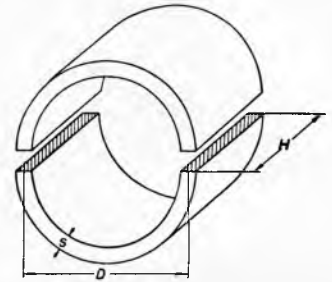
CENTRIFUGIRANJE, operacija procesne tehnike koja se koristi centrifugalnom silom za razdvajanje sastojina heterogenih mješavina čvrstih i tekućih tvari ili tekućih tvari različitih specifičnih težina, a uz upotrebu aparata zvanih *centrifuge*. (Operacije za razdvajanje sastojina smjesa centrifugalnom silom u drugim aparatima, kao što su npr. cikloni, nisu obuhvaćene pojmom centrifugiranja.) Centrifuge se upotrebljavaju, osim u procesnim industrijama (kemijskoj, prehrambenoj i sl.) u vrlo velikoj mjeri u mljekarstvu (za odvajanje vrhnja), pri rafiniranju mineralnih i vegetabilnih ulja, također u strojarstvu (za čišćenje mazivih i drugih ulja). Za odvodnjavanje (uklanjanje glavne količine vode iz čvrstog materijala) upotrebljava se centrifugiranje u tekstilnoj industriji i pri separaciji ugljena. Iznimno se centrifugama (tzv. ultracentrifugama) mogu odvajati i molekule različite težine u homogenim tekućim i plinovitim smjesama (npr. u nuklearnoj tehnici molekule ^{235}U od molekula ^{238}U).

U industrijskim centrifugama se jedna cilindrična posuda, zvana *bubanj* centrifuge, okreće velikom brzinom oko svoje geometrijske osi; smjesa koju treba razdvojiti unosi se u tu posudu i prisiljava da se s njome zajedno okreće; u nastalom polju centrifugalne sile svaka čestica dobiva ubrzanje (akceleraciju centrifugalne sile) koje je jednako

$$a_c = \frac{v^2}{r} = \omega^2 r = 4\pi^2 n^2 r, \quad (1)$$

gdje je a_c akceleracija centrifugalne sile, v obodna brzina čestice koja se okreće na udaljenosti r od osi vrtnje, ω kutna brzina a n broj okretaja bubnja i tekućine. Iz te se jednadžbe vidi da ubrzanje centrifugalne sile raste mnogo brže (s kvadratom) sa povećanjem kutne brzine (ω odn. n) nego povećanjem polumjera r . Povećanju jednog i drugog od tih faktora postavljene su granice naprezanja u bubnju, koja također s njima rastu. Ako je H aksijalna dužina cilindričnog bubnja, D njegov srednji promjer, s debljina njegova zida, m_b njegova masa a ρ_b gustoća materijala od kojeg je napravljen, bit će $m_b = D \rho_b H s$, a centrifugalna sila izazvana njegovom masom

bit će $F_{cb} = a_c \cdot D \rho_b H s = \frac{1}{2} \omega^2 \pi \rho_b H s D^2$. Ta sila nastoji rastrgnuti bubanj nadvoje po izvodnicama cilindra, tj. djelujući na površinu $A = 2 s H$ (sl. 1). Napon kojemu je izvrnut bubanj uslijed vlastite mase iznosi prema tome: $\sigma = F_{cb}/A = \frac{1}{4} \pi \rho_b \omega^2 D^2$. (2) Za razliku od centrifugalne sile, taj napon raste dakle s kvadratom i kutne brzine i promjera (odn. polumjera). Kako veći D zahtijeva deblji bubanj koji je skuplji u nabavci i pogonu, bit će općenito za postizanje veće centrifugalne sile ekonomski povoljnije povećavati brzinu okretanja nego promjer. Kako, međutim, od promjera zavisi i kapacitet centrifuge, taj će zaključak biti potrebno u specijalnim slučajevima kvalificirati.



Sl. 1. Uzb proračun napona σ u bubnju centrifuge

Postignuto se maksimalno ubrzanje u centrifugalnom polju (na zidu bubnja) često izražava uzimajući kao jedinicu akceleracije standardno ubrzanje sile teže g (ta se jedinica naziva g ; $1 g = 8,90665 \text{ m/sek}^2$):

$$\frac{a_c}{g} = \frac{4\pi^2 n^2 r}{g} \approx \frac{r n^2}{900} \quad (r \text{ u m, } n \text{ u min}^{-1}), \text{ jer je } \pi^2 \approx g \text{ u m/sek}^2, \text{ a } \text{min}^{-1} = \text{sek}^{-1}/60.$$

Prema tome, da bi se dobila centrifugalna akceleracija u geovima, tj. broj koji kazuje koliko je puta ta akceleracija veća od akceleracije sile teže, treba umnožak polumjera u metrima i kvadrata broja okretanja na minutu podijeliti sa 900.

Uslijed djelovanja centrifugalne sile površina tekućine u bubnju dobiva oblik rotacijskog paraboloida, kojemu je ploha u svakoj tački okomita na smjer rezultante centrifugalne sile i sile teže (sl. 2). Budući da je u centrifugama redovito $a_c \ll g$, praktički je površina tekućine u bubnju okomita na smjer centrifugalne sile, tj. koaksijalna s bubnjem.

I na čestice dispergirane u tekućini centrifugalna sila djeluje (istovremeno i) analogno kao sila teže (obje su masene sile i tvore potencijalno polje), ali dok sila teže

ima konstantnu vrijednost i smjer, centrifugalna sila može djelovati u svim smjerovima a vrijednost joj zavisi od brzine okretanja i udaljenosti od osi okretanja te može biti i mnogo hiljada puta veća od vrijednosti sile teže. U procesnoj se tehnici centrifugiranje i primjenjuje za operacije koje se obavljaju također uz iskorištavanje sile teže, a u slučajevima kad bi djelovanje sile teže, zbog njene manje vrijednosti, bilo presporo. Te su operacije uglavnom sedimentacija (uključivši i negativnu sedimentaciju — «floataciju» u širem smislu — i razdvajanje emulzija u odvojene slojeve tekućina, «stratifikaciju» i filtracija. One se uz pomoć centrifugalne sile izvode u aparatima koji imaju neke zajedničke konstruktivne i pogonske karakteristike, centrifugama, ali su te operacije u fizičkom pogledu sasvim raznorodne. Razlikuje se, prema tome, *sedimentacijsko centrifugiranje* i *filtracijsko centrifugiranje*.

Teorija sedimentacijskog centrifugiranja. Sedimentacijska centrifuga sastoji se u suštini od cilindrične posude koja se brzo okreće oko svoje osi i u koju se unosi tekuća mješavina koju treba razdvojiti. U centrifugalnom polju specifički teže čestice mješavine putuju prema zidu cilindra i talože se bilo na njemu bilo na koničnim tanjurima kojima je radi skraćanja puta čestica i povećanja površine taloženja unutrašnjost cilindra po visini razdijeljena. Odvojena specifički teža komponenta mješavine na pogodan se način odvodi sa periferije, a lakša tekućina izlazi bliže osi cilindra (sl. 3).

Čestica u polju centrifugalne sile kreće se u viskoznoj sredini (nakon vrlo kratkog vremena ubrzanja) jednoliko brzinom koju postiže kad se uspostavi ravnoteža između centrifugalne sile i sile trenja koja se suprotstavlja gibanju u viskoznom mediju. Centrifugalna sila koja djeluje na česticu mase m i tolikog volumena da istiskuje masu tekućine m_1 , na udaljenosti r od osi okretanja, iznosi:

$$F_c = (m - m_1) \omega^2 r.$$

Sila trenja određena je Stokesovim zakonom:

$$F_t = 3\pi \eta D v_s,$$

gdje je η dinamički viskozitet tekućine, d promjer čestice (za koju

se pretpostavlja da je kugla), a v_s jednolična brzina sedimentacije. Kad su te dvije sile u ravnoteži, brzina sedimentacije, prema gornjim jednadžbama, sa $m_1 - m = \frac{1}{2} d^3 \pi (\rho - \rho_1)$ jednaka je:

$$v_s = \frac{(\rho - \rho_1) d^2 \omega^2 r}{18 \eta}, \quad (3)$$

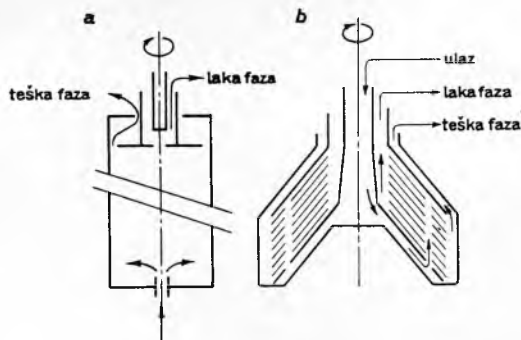
ako se sa ρ i ρ_1 označi gustoća čestice odn. tekućine.

Put što će ga prevaliti čestice za vrijeme t iznositi će:

$$x = v_s t = \frac{(\rho - \rho_1) d^2 \omega^2 r}{18 \eta} \cdot \frac{V}{Q}, \quad (4)$$

gdje je V volumen tekućine u bubnju, a Q protok tekućine kroz centrifugu, tj. volumen koji kroz nju protječe u jedinici vremena.

Kad bi okolnosti pri industrijskom centrifugiranju odgovarale pretpostavkama učinjenim pri izvođenju jednadžbe (4), ona bi se mogla upotrijebiti za dimenzioniranje centrifuge. U stvari, čestice suspenzije po pravilu nisu kugle i nisu iste veličine; strujanje tekućine oko čestica nije uvijek viskozno nego može biti turbulento; sedimentacija nije nesmetana već se čestice sukobljavaju; zbog promjenljivosti polumjera r ravnotežna brzina se ponešto razlikuje od izračunate iz gornje jednadžbe; teške čestice ne okreću se istom kutnom brzinom kao bubanj i tekućina, već nešto za njima zaostaju; mehanički slabe čestice (npr. kapljice u emulziji) u periodu ubrzavanja tekućine do brzine okretanja bubnja mogu se raspadati na manje dijelove, te se time mijenja pretpostavljeni ekvivalentni polumjer d . Teorija centrifugiranja još nije toliko napredovala da bi se sve te okolnosti mogle uzeti u obzir, pa se stoga centrifuge konstruiraju redovito na osnovu iskustva i eksperimentiranja. Ipak se na osnovu jedn. (4) može upoređivati učinak istovrsnih centrifuga različite veličine pri primjeni na iste suspenzije. Za tu svrhu s pomoću te se jednadžbe izvodi faktor kapaciteta centrifuge Σ kako se navodi u nastavku.



Sl. 3. Ulazne i izlazne ustave: a u cijevnoj centrifugi, b u centrifugi s tanjurima

Ako je put x , jedn. (4), prevaljen za vrijeme t kroz koje čestica boravi u centrifugi, veći nego početna udaljenost čestice od zida bubnja (odn. od površine tanjura), čestica će se taložiti na zid; čestice promjera d koje se na početku nalaze na udaljenosti od zida većoj nego x izbjeći će taloženju u centrifugi. Ako se vrijeme boravka suspenzije u centrifugi izabere tako da se od ispočetka jednoliko raspršenih čestica jednake veličine d polovica istaloži a polovica izbjegne taloženju, tj. tako da je put x najudaljenije čestice koja se još taloži jednaka polovici udaljenosti s površine tekućine od zida bubnja ($x = s/2$), slijedi iz jednadžbe (4), uz pretpostavku da je s vrlo malo te je centrifugalna sila konstantna i jednaka maksimalnoj vrijednosti na zidu bubnja polumjera r :

$$Q_0 = \frac{(\rho - \rho_1) d^2}{18 \eta} \cdot \frac{V \omega^2 r}{s}$$

Prvi razlomak na desnoj strani te jednadžbe sadrži veličine koje su karakteristične isključivo za suspenziju koju treba razdvojiti, drugi razlomak sadrži samo veličine karakteristične za centrifugu. Ako se proširi druga strana gornje jednadžbe sa $2g$, dobije se:

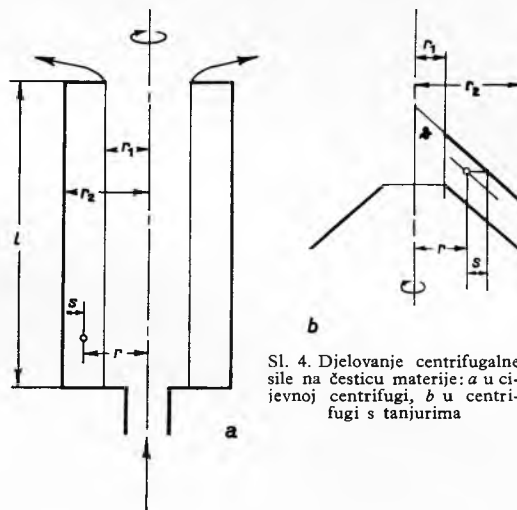
$$Q_0 = 2 \frac{(\rho - \rho_1) d^2 g}{18 \eta} \cdot \frac{V \omega^2 r}{s g} \quad (5)$$

Prvi razlomak sad je brzina sedimentacije v_g u polju sile teže [jedn. (3) s ubrzanjem g umjesto ubrzanja $\omega^2 r$]; drugi razlomak ima

dimenziju površine, on dakle predstavlja površinu tanka za sedimentaciju gravitacijom koji bi iz suspenzije karakterizirane prvim razlomkom taložio čestice istom brzinom kao promatrana centrifuga. Taj razlomak dakle i jest traženi faktor kapaciteta Σ :

$$\Sigma = \frac{V \omega^2 r}{s g}, \quad Q_0 = 2 v_g \Sigma. \quad (6,7)$$

Ako s nije malen, nego sloj seže od polumjera r_1 do polumjera r_2 (sl. 4a), treba jedn. (5) napisati u diferencijalnom obliku i do-



Sl. 4. Djelovanje centrifugalne sile na česticu materije: a u cijevnoj centrifugi, b u centrifugi s tanjurima

bivenu diferencijalnu jednadžbu integrirati. Tako se dobije da je koeficijent Σ za kontinuiranu sedimentacijsku centrifugu s bubnjem u obliku cijevi (prema sl. 4a) jednak

$$\Sigma = \frac{\pi l \omega^2}{g} \cdot \frac{r_2^2 - r_1^2}{\ln \frac{r_2^2 + r_1^2}{2 r_2^2}} \approx \frac{2 \pi l \omega^2}{g} \left(\frac{3}{4} r_2^2 + \frac{1}{4} r_1^2 \right), \quad (8)$$

(gdje je l aksijalna dužina bubnja) a za centrifugu s tanjurima (prema sl. 4b):

$$\Sigma = \frac{2 \pi n \omega^2 (r_2^3 - r_1^3)}{3 g \operatorname{tg} \theta}, \quad (9)$$

gdje su r_1 i r_2 polumjeri unutrašnjeg i vanjskog ruba koničnih tanjura, a θ polovica njihova vršnog kuta.

Koeficijent Σ može se upotrijebiti za karakteriziranje kapaciteta istovrsnih centrifuga i za prenošenje rezultata dobivenih u laboratorijskim malim centrifugama na prototipe u velikom mjerilu. Iz jedn. (7) slijedi da je za geometrijski i hidrodinamički slične centrifuge i za istu suspenziju

$$Q_1 / \Sigma_1 = Q_2 / \Sigma_2 = \dots = 2 v_g = \text{konst.}$$

Zbog toga što sve pretpostavke učinjene pri izvođenju koeficijenta Σ nisu u praksi ispunjene, potrebno je i u slučaju potpune geometrijske sličnosti primijeniti korekturni koeficijent dobiven iz iskustva (taj nije mnogo različit od 1 za odvajanje čvrste od tekuće faze, ali može biti i do 4 pri razdvajanju smjese dviju tekućina); takvim se faktorom mogu uzeti u obzir i odstupanja od geometrijske sličnosti među laboratorijskom centrifugom i prototipom.

Ako se jedn. (4) riješi sa d , dobije se jednadžba

$$d = \sqrt{\frac{9 \eta Q_0}{\rho - \rho_1} \cdot \frac{s}{V \omega^2 r^2}} \quad (10)$$

odn. odgovarajuće jednadžbe prema izrazima (8) i (9); s pomoću tih se jednadžbi može (uz gore navedene ograde) utvrditi kako će centrifuga, kao aparat za klasiranje, razdvojiti datu suspenziju prema veličini čestica.

Kad se sedimentacijska centrifuga upotrijebi za razdvajanje mješavine dviju netopljivih tekućina, izbacivanje slojeva odvojenih tekućina regulira se ustavama (v. sl. 3); relativni polumjeri rubova tih ustava određuju na kojem će se polumjeru ustaliti razdjelna površina obiju tekućina. Položaj razdjelne površine

određuje koja će od obiju tekućina, laka ili teška, biti više podvrgnuta bistrenju; taj položaj određen je jednadžbom:

$$r_1 - r_t = \frac{\rho_1}{\rho_t} (r_1^2 - r_t^2),$$

gdje su r polumjeri, ρ gustoće, a indeksi i , t i l ukazuju na razdjelnu površinu, tešku odn. laku tekućinu.

Dimenzije sedimentacijske centrifuge. U pogledu dimenzija bubnja sedimentacijske centrifuge pravilan je opći zaključak iz jedn. (1). U toj centrifugi korisno se djelovanje bubnja sastoji u tome što izaziva polje ubrzanja, u kojem na kuglastu česticu promjera d i gustoće ρ_t djeluje pritisak sedimentacije jednak (masa \times akceleracija: čeona površina čestice):

$$p_{sed} = \frac{4}{3} \cdot \frac{d^3}{8} \rho_t \pi \cdot a_c / \frac{1}{4} d^2 \pi = \frac{1}{6} \rho_t d a_c.$$

U drugu ruku, da bi se postiglo to djelovanje, potreban je za materijal bubnja trošak koji je proporcionalan naponu σ u njemu, prema jedn. (1). Može se, dakle, definirati »koeficijent iskorištenja bubnja« kao

$$\frac{p_{sed}}{\sigma} = k \cdot \frac{\rho_t}{\rho_b} \cdot \frac{d}{D}$$

(gdje su u k skupljeni konstantni faktori).

Iz toga se vidi da je bubanj u sedimentacijskoj centrifugi to bolje iskorišten što mu je manji promjer D .

Teorija filtracijskog centrifugiranja. Brzina filtracije — ona određuje dimenzije centrifuge — zavisi od brzine kojom tekućina prolazi kroz porozni sloj čvrstih čestica zadržanih na filtru (*filtrarskog kolača*). Ta brzina zavisi od djelovanja različitih sila otpora u pojedinim fazama filtracije: od unutrašnjeg trenja tekućine dok su pore kolača pune tekućine, od kapilarnih sila i adheziji u kasnijoj fazi. Te su sile zavisne i od geometrije skupa čestica i redovito se u toku filtracije mijenjaju. Zbog svega toga ni teorija filtracije pod djelovanjem sile teže ili hidrostatičkog pritiska danas još nije toliko potpuna da bi omogućavala konstruiranje aparature bez pokusa u laboratoriju ili u velikom mjerilu (v. *Filtracija*); pogotovo se to može reći o filtraciji u centrifugama, gdje je i sila koja djeluje na tekućinu i na filterski kolač različita na različitim udaljenostima od osi okretanja. Zbog toga se proračun filtracijskih centrifuga osniva uglavnom na pokusima i na korelacijskim jednadžbama do kojih su graditelji centrifuga došli dugim iskustvom.

Jedna poluempirijska jednadžba, izvedena uz pojednostavnjujuće pretpostavke, koja povezuje glavne parametre centrifugalne filtracije i može služiti kao prva aproksimacija u proračunima i za korelaciju performansa filtracijskih centrifuga, glasi:

$$q - q_\infty = \left(\frac{k}{d} \right) \left(\frac{\eta_1}{\rho_1} \right)^{1/2} \left(\frac{h}{Gt} \right)^{1/2}, \quad (11)$$

gdje je q omjer volumena tekućine i volumena čvrste tvari u kolaču nakon vremena t od momenta kad je površina tekućine nestala iznad kolača, q_∞ taj isti omjer nakon beskonačno dugog vremena centrifugiranja (predstavlja tekućinu koja se ne može ukloniti centrifugiranjem), η_1 i ρ_1 viskozitet i gustoća tekućine, h debljina kolača, G omjer ubrzanja centrifugalne i gravitacijske sile u zoni konačnog odvođivanja, d srednji promjer čestica, k iskustveni koeficijent.

Iz te jednadžbe slijedi da je uz konstantan k i h funkcija

$$q \sqrt{t} = f \left(\frac{d \sqrt{G}}{\sqrt{\eta_1}} \right) \quad (12)$$

(gdje je $\nu_1 = \eta_1/\rho_1$ kinematički viskozitet tekućine) prikazana pravcem, te se performansa centrifuge može prikazati familijom pravaca s parametrom h (v. sl. 18).

Dimenzije filtracijske centrifuge. Za filtracijsku centrifugu ne vrijedi zaključak stvoren iz jedn. (1). U njoj se korisno djelovanje polja centrifugalne sile sastoji u tome što ono u tekućini izaziva hidrostatički pritisak, kojim se filtracija ubrzava analogno kao u filtrima koji rade pod djelovanjem sile teže ili pritiska izazvanog nekom pumpom. Ako se sa H označi debljina sloja tekućine u bubnju, a sa ρ_1 njezina gustoća, pritisak izazvan centrifugalnom silom (analogan statičkom pritisku stupca tekućine na dno u polju sile teže $p = g \rho_1 H$) iznosi:

$$p_1 = \int_{D/2-H}^{D/2} \rho_1 \omega^2 r dr = \rho_1 \omega^2 \int_{D/2-H}^{D/2} r dr = \frac{\rho_1}{2} \omega^2 H (D - H).$$

Pretpostavi li se da je u sličnim centrifugama debljina sloja H proporcionalna promjeru D , izlazi da je pritisak tekućine na dno proporcionalan $\rho_1 \omega^2 D^2$, a »koeficijent iskorištenja bubnja«, p_1/σ ,

$$p_1/\sigma = k \frac{\rho_1 \omega^2 D^2}{\rho_b \omega^2 D^2} = k \frac{\rho_1}{\rho_b},$$

dakle nezavisan od promjera bubnja. Filtracijske centrifuge grade se stoga s bubnjevima većeg promjera, da bi se dobila veća površina filtracije.

Snaga potrebna za pogon centrifuge. Operacija centrifugiranja zahtijeva razmjerno mali utrošak snage. Bubanj u pogonu ne zahtijeva teorijski nikakve snage da se održi u kretanju, a isto tako ni sadržaj ako u bubnju miruje ili je to tekućina koja kroz nj prolazi i izbacuje se iz njega u njegovoj osi. Snaga je potrebna da se ubrza masa bubnja od stanja mirovanja do stanja okretanja punim brojem okretaja, isto tako mirujućeg sadržaja i tekućine koja prolazi i izbacuje se u nekoj udaljenosti od osi okretanja; u kontinuiranim centrifugama potrebna je i snaga za tjeranje pumpe koja podržava protok; i bubanj na punom broju okretaja zahtijeva izvjesnu snagu zbog trenja u ležajevima, prigonima itd. i zbog toga što bubanj stavlja u kretanje okolni uzduh. U normalnim okolnostima najveća je od tih snaga ona koja je potrebna za ubrzanje bubnja i sadržaja. Snaga nekorisno utrošena za pokretanje okolnog uzduha može biti prilično velika; u iznimnim slučajevima, kad se bubanj okreće u uzduhu koji je pod pritiskom, ta snaga može postati i veća od snage pokretanja.

Da bi se okretanje neke mase ubrzalo od kutne brzine ω_1 do kutne brzine ω_2 , potrebna je energija

$$E = \frac{1}{2} I (\omega_2^2 - \omega_1^2),$$

gdje je I polarni moment ustrajnosti te mase oko osi okretanja. Za ubrzanje od stanja mirovanja do kutne brzine ω_2 potrebna je dakle energija

$$E = \frac{1}{2} I \omega_2^2. \quad (13)$$

Energija koju daje motor za to ubrzanje iznosi

$$E_m = \int_0^{\Delta t} M \omega_m dt, \quad (14)$$

gdje je Δt vrijeme potrebno da bi se postigla kutna brzina ω_2 , a M je moment predat bubnju centrifuge od motora koji se okreće momentalnom kutnom brzinom ω_m . Odnos između M i ω_m je funkcija konstrukcije motora, tromosti pogonskog uređaja i trenja u njemu, intenziteta pokretanja okolnog uzduha. Ako je sve to poznato, može se izračunati vrijeme Δt iz jednadžaba (13) i (14). Nominalna energija motora koji pokreće bubanj mora biti znatno veća nego energija izračunata prema jedn. (13); svega oko 20% energije motora iskorištava se za stavljanje bubnja u pogon, a 80% gubi se kao toplina u motoru. Ipak se motor ne bira tako da on može staviti u pogon centrifugu svojom nominalnom snagom, već se on za vrijeme stavljanja u pogon centrifuge preopterećuje, samo se treba pobrinuti za to da vrijeme preopterećenja Δt , izračunato kako je naprijed rečeno, ne bude dulje od dopuštenog. I pored toga što se poduzimaju specijalne mjere, kao primjena motora sa spojem zvijezda-trokut ili sa smanjenim momentom, i pogone sa spojkom, učestalost takvih preopterećenja ne smije preći određene granice.

Svaka struja tekućine koja kontinuirano prolazi kroz centrifugu treba za ubrzanje na kutnu brzinu ω snagu $P = Q \rho \omega^2 r^2$, ako je Q volumna brzina struje tekućine gustoće ρ , izbačene na udaljenosti r od osi okretanja. Ukupna snaga za ubrzanje sadržaja zbroj je snaga potrebnih za ubrzanje pojedinih struja. Jedan dio te snage utroši se za prevladavanje otpora gibanju struje u centrifugi, ostatak se pojavljuje kao kinetička energija struje tekućine na izlazu iz centrifuge. U nekim centrifugama jedna od odvojenih faza izbacuje se kroz sapnice na periferiji ili blizu periferije bubnja. Ako se mlaz tekućine koja izlazi kroz sapnicu upravi tangencijalno u smjer suprotan smjeru okretanja, taj će mlaz reakcijom (po principu Segnerova kola) pomagati okretanju bubnja, tj. jedan velik dio njegove kinetičke energije moći će se rekuperirati. Na isti način rekuperira se kinetička energija tekućine koja u unutra-

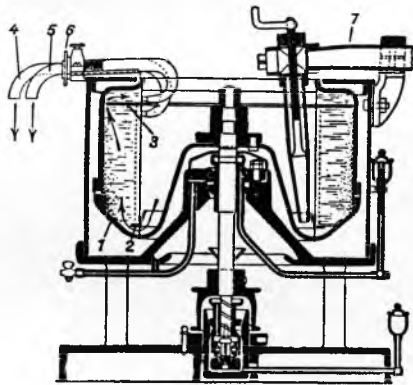
šnjosti bubnja struji najprije prema periferiji, a onda se vraća u smjer osi. Unutrašnjost centrifuge oblikuje se tako da strujanje tekućine nailazi na što manji otpor, te se od energije što je predaje tekućini motor koji pogoni bubanj, i/ili pogonski motor pumpe koja dobavlja tekućinu centrifugi, što manje gubi s tog naslova.

TIPOVI CENTRIFUGA

Prema operaciji koja se njima obavlja centrifuge se uglavnom mogu podijeliti u sedimentacijske i filtracijske. (Ima i centrifuga koje obavljaju obje operacije: gušća faza u njima se do izvjesne mjere odvaja kao u sedimentacijskoj centrifugi, a rjeđa tekućina na svom putu prema sredini i napolje prolazi kroz filter u kojemu se odvajaju najsitnije čestice.) Prema položaju osi bubnja razlikuju se vertikalne i horizontalne (uspravne i položene) centrifuge, pri čemu bubanj vertikalnih centrifuga može biti odozdo poduprt ili odozgo obješen; prema obliku bubnja, centrifuge s kratkim bubnjem (košarom) i centrifuge s dugim bubnjem, također centrifuge s cilindričnim i centrifuge s koničnim bubnjem; prema režimu rada, centrifuge s diskontinuiranim radom i s kontinuiranim radom, pri čemu diskontinuirani rad može biti ručni ili automatski. Prema brzini okretanja bubnja razlikuju se sporohodne centrifuge, brzohodne centrifuge i centrifuge umjerene brzine vrtnje. Svrha operacije može biti da jednu od faza odvoji potpuno (bistrenje, zgušnjavanje, filtracija), ili djelomično, selektivno (separacija, klasifikacija). Pri sedimentaciji može biti posrijedi razdvajanje tekućih faza, odvajanje čvrste faze od tekuće, ili oboje istovremeno.

Sve te podjele među sobom se presijecaju i za svaku ima područje u kojem je ona korisnija od drugih. Stoga će se u nastavku prikazati primjeri različitih tipova centrifuga ne držeći se konsekventno nijedne od navedenih podjela, a imajući ih sve u vidu.

Sedimentacijska centrifuga s košarom. Sl. 5 pokazuje uspravnu sedimentacijsku centrifugu s odozdo poduprtom košarom.



Sl. 5. Sedimentacijska centrifuga s košarom. 1 košara, 2 ulazna ustava, 3 izlazna ustava, 4 sisak za bistrinu tekućinu, 5 sisak za mulj, 6 matica za pomicanje siska, 7 dovod suspenzije

Košara je — kako je najpovoljnije — pričvršćena na vratilo u svom težištu; pogon je odozdo remenicom. Suspenzija se dovodi kroz ventil (desno) pod razdjelni prsten čiji vanjski rub ima toliko promjer da suspenzija ulazi u neutralni sloj centrifugirane tekućine, tj. u onaj sloj koji ima istu koncentraciju čvrste tvari kao sama suspenzija, te se time stacionarno stanje najmanje remeti. (U heterodisperznom sistemu, gdje se koncentracija čvrstog u centrifugiranom sloju kontinuirano mijenja od nule na površini do maksimalne na zidu košare, takav sloj mora postojati.)

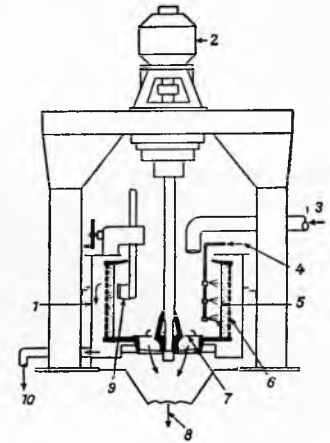
Zgusnuti mulj s periferije košare prolazi stalno ili povremeno, kad je dovoljno zgusnut, preko izlazne prstenaste ustave i izlazi kroz cijev (sisak) 4; izbistrenu tekućinu skida s površine centrifugiranog sloja sisak 3. Manje je oštro razdvajanje faza u centrifugama u kojima je gornji rub košare istovremeno izlazna ustava, tj. iz kojih bistra tekućina pretječe preko tog ruba u vanjsko kućište oko košare, a mulj otječe dolje blizu osovine ispod izlazne ustave (*pretočne centrifuge*). Ako sediment treba dobiti razmjerno suh, centrifuga radi diskontinuirano, u ciklusima između periodskih vadenja sedimenta. U unutrašnjosti sedimentacijskih cen-

trifuga redovito se nalaze radialne pregrade koje prisiljavaju tekućinu da se okreće istom brzinom kao bubanj.

Takve relativno sporohodne centrifuge sa $n = 500 \dots 2000/\text{min}$ i s bubnjem promjera 30–200 cm upotrebljavaju se za uklanjanje lako sedimentirajućih čvrstih čestica iz velikih volumena razrijeđenih suspenzija, npr. čvrstog sedimenta iz otpadnih voda, kalcijum-sulfata iz melase i sl., također za odvajanje taloga u tvornicama s malom produkcijom. Trajanje ciklusa, tj. razmak vremena između dva uzastopna vadenja čvrstog sedimenta, može biti od desetak minuta do mnogo sati.

Filtracijska centrifuga s košarom. Sl. 6 prikazuje uspravnu filtracijsku centrifugu s obješenom košarom (s pogonom odozgo).

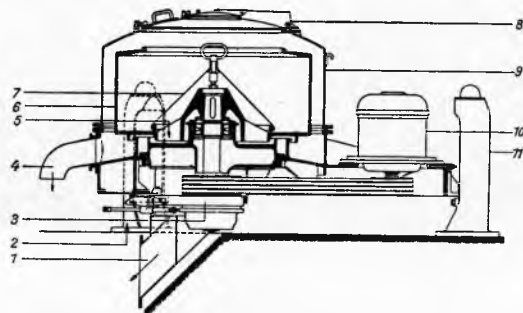
Bubanj filtracijskih centrifuga ima na sebi rupe, koje, međutim, ne mogu biti previše nagusto raspoređene, da ne bi bubanj mehanički previše oslabile; sam bubanj stoga rijetko može služiti kao sito (npr. pri odvođenju ugljena ili tekstila), već se iznutra na košari namjesti filtersko platno ili mreža, i to ne neposredno na zid (jer bi onda filtracijska površina bila premala, tj. samo kolika je površina rupa), nego na poroznu podlogu, npr. strunjaču od žice. Bubanj je često ojačan prstenima za ukrućenje. Obješeno vratilo na donjem kraju nosi bubanj, a gore je smješteno u ležaj koji mu dopušta da se ukloni iz okomice. Takvo ili drukčije elastično ležištenje vratila potrebno je kod svih centrifuga u kojima može doći do nejednolikog (ekscentričnog) opterećenja bubnja,



Sl. 6. Filtracijska centrifuga s košarom. 1 kućište, 2 motor, 3 dovod suspenzije, 4 dovod vode za ispiranje kolača, 5 kolač, 6 košara, 7 poklopac na otvoru za izbacivanje kolača, 8 izlaz filter-skog kolača, 9 nož za izbacivanje kolača, 10 zlaz filtrata

jer se ekscentrično opterećena centrifuga u pokretu (poput zvrka) nastoji uvijek postaviti tako da joj se os vrtnje okreće po površini stošća oko pravca koji spaja objesište (ili tačku gdje je vratilo poduprto) s težištem sistema. Zbog toga se i pri razmjerno malo ekscentričnom opterećenju razvijaju sile koje bi naskoro uništile ležaje i zahtijevale jako fundiranje aparata ako im se dijelom ne bi dopustilo da skrenu vratilo s okomitog položaja, a dijelom se prihvatile i uništile elastičnim ležajima. Tako i uspravne odozdo poduprte (i pogonjene) centrifuge, koje su inače slične centrifugi na sl. 5, umjesto donjeg fiksnog nožnog i gornjeg fiksnog vratnog ležaja imaju dolje pokretan nožni ležaj a gore elastičan vratni ležaj. Drugi način kojim se postiže isti efekt, a upotrebljava se za centrifuge velikog polumjera, jest da se centrifuga zajedno s kućištem i pogonskim uređajem objesi na tri stupa (sl 7.).

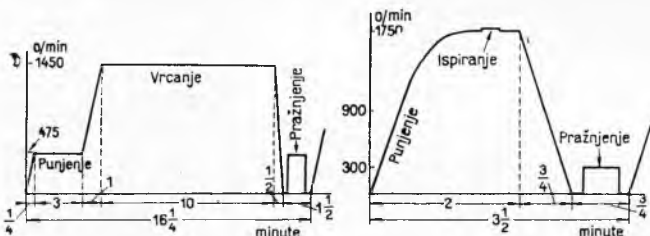
Pogon opisanih centrifuga je diskontinuiran i ručan. Npr. centrifuga sl. 6 otvaranjem ventila u dovodnoj cijevi napuni se muljem ili kristalnom kašom, pri čemu, radi sprečavanja ekscentričnog opterećenja, brzina okretanja bubnja ne smije biti toliko velika da suspenzija brzim uklanjanjem vode postane nepokretna



Sl. 7. Filtracijska centrifuga obješena na tri stupa. 1 izlaz filter-skog kolača, 2 stup, 3 kočnica, 4 izlaz filtrata, 5 otvor za izbacivanje kolača, 6 košara, 7 poklopac otvora za izbacivanje, 8 poklopac kućišta, 9, 10 motor, 11 stup

prije nego što se dospjela jednolično rasporediti u bubnju. Kad je tekućina iz filterarskog kolača, uz puni broj okretaja bubnja, dovoljno uklonjena, kolač se može oprati fino raspršenom vodom ili parom (mogućnost takvog ispiranja minimalnom količinom tekućine, bez osjetljivih gubitaka i sa topljivih taloga, predstavlja jednu od prednosti centrifugalnog filtriranja), a onda se uz kočenje bubnja filterarski kolač izbacuje kroz donji otvor na košari (zatvoren poklopcem za vrijeme filtriranja), time što se ručno utiskuje u nj pogodna drvena dugačka lopata ili pomičnim nožem koji se može ručnim točkom pomoću vijka postepeno utiskivati u kolač. Za izbacivanje filtriranog materijala na taj način pogodnije su obješene centrifuge, ispod kojih je prostor slobodan; za materijal koji se odozgo mora vaditi iz zaustavljenog bubnja pogodnije su odozdo poduprte centrifuge; centrifuge obješene na tri stupa mogu se na oba načina bez smetnje prazniti.

Diskontinuirane uspravne filtracijske centrifuge s košarama, većinom obješenim, promjera 75·120 cm, upotrebljavaju se još danas u najvećoj mjeri u rafinerijama šećera za odvajanje kristala od soka. U šaržama po 50·200 kg i ciklusima dugim ponekad svega 2 min prerađuju se tamo mnogotonske količine. U kemijskoj industriji upotrebljavaju se često kad treba jednim aparatom filtrirati materijale različitih karakteristika, ili kad opseg produkcije ne opravdava automatizaciju. Različni organski i anorganski



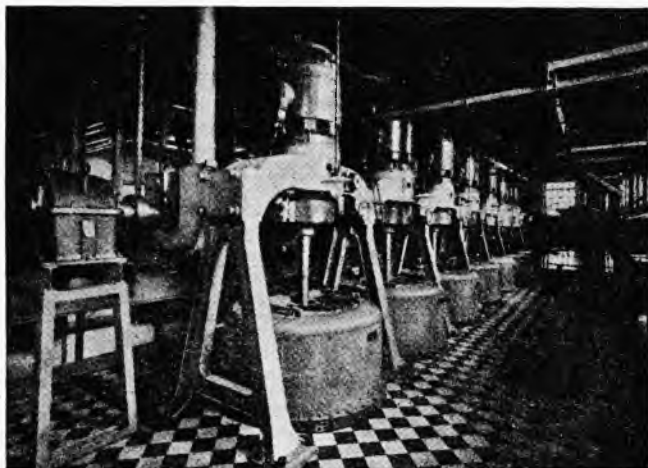
Sl. 8. Ciklusi diskontinuiranih centrifuga: lijevo filtracijske centrifuge u kemijskoj industriji, desno filtracijske centrifuge u šećerani

kristalni materijali filtriraju se tamo u ciklusima dugim 6·20 minuta.

Dijagram sl. 8 prikazuje ciklus rada diskontinuirane filtracijske centrifuge za šećer i ciklus jedne centrifuge u kemijskoj industriji, sl. 9 bateriju centrifuga u rafineriji šećera.

U novije vrijeme razvijene su potpuno automatske filtracijske centrifuge obješene za osovinu ili sa tri stupa: košara im se usporava na ~ 35 okretaja na minutu radi izbacivanja kolača, a ima i izvedaba kod kojih se za vrijeme izbacivanja kolača bubanj okreće u suprotnom smjeru, protiv oštrice noža koja skida kolač.

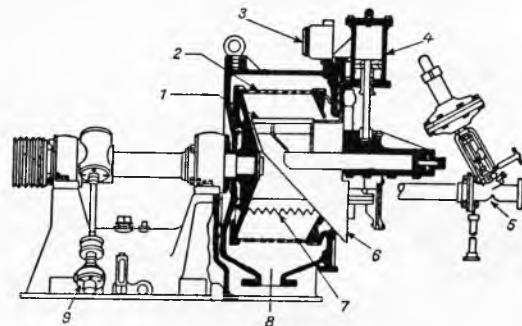
Za svladavanje srednje velikih i velikih količina materijala grade se automatske filtracijske centrifuge s košarom na horizontal-



Sl. 9. Prostorija centrifuga u rafineriji šećera

noj osovinu u fiksnim ležajima (sl. 10). Uz nesmanjeni broj okretaja, s pomoću hidraulički upravljanih ventila i hidrauličkih motora, u periodu punjenja dovodi se u košaru kristalna kaša koju posebni

razdjeljivači jednoliko raspoređuju, a u periodu pražnjenja kolaču se primiče i u nj postepeno utiskuje nož, tako da ofiltrirani kristali ispadaju kroz kosinu. Nakon uklanjanja matičnog luga iz kolača, ovaj se može vrlo djelotvorno isprati na filtru. Filtar je



Sl. 10. Automatska diskontinuirana filtracijska centrifuga. 1 nož za izbacivanje kolača, 2 košara, 3 sklopka za namještanje noža, 4 klip za reguliranje noža, 5 regulacijski ventil za dovod kristalne kaše, 6 izlaz čvrstog materijala, 7 razdjeljivač kristalne kaše, 8 izlaz filtra, 9 hidraulička pumpa noža za izbacivanje kolača

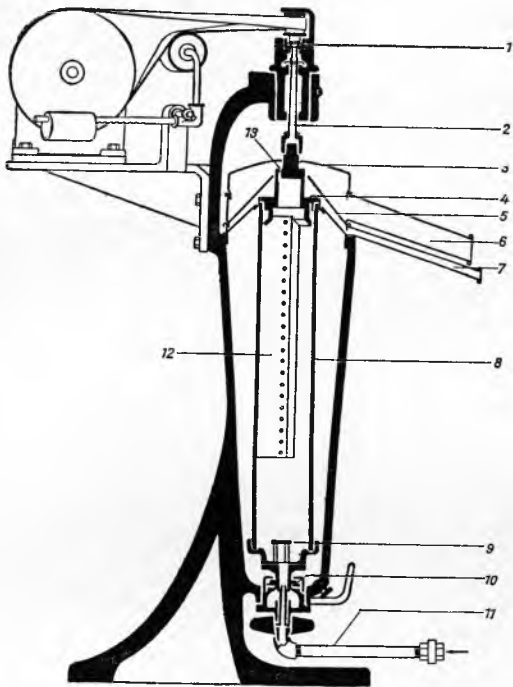
redovito metalna mreža; na njoj zaostaje uvijek tanak sloj ofiltriranog materijala, koji se u svakom ciklusu ili povremeno ispiri, da mu se otčepe pore. Tipični primjeri košare su od 50 do 100 cm, trajanje ciklusa od 40 sek do 3 minute. Takve centrifuge upotrebljavaju se za kolače dobre propusnosti, npr. grube kristale, i daju razmjerno suh produkt. Na njima se filtrira primjerice amonijum-sulfat.

Na istom principu grade se i sedimentacijske centrifuge s automatskim izbacivanjem sedimenta uz nesmanjen ili smanjen broj okretaja.

Cijevna centrifuga (sl. 11) koristi se spoznajom koju izražava jedn. (2), tj. velika ubrzanja centrifugalne sile postižu se u njoj velikom brzinom okretanja uz mali polumjer bubnja, a da bi se produžilo vrijeme boravka u polju centrifugalne sile, bubanj joj je izdužen u obliku cijevi. Bubanj je obješen na vratilu za gornji ležaj tako da mu se os može malo ukloniti iz okomice, a dolje ima otvor za sapnicu kojom se odozdo uštrcava mlaz mutne tekućine. Tu tekućinu umetnute radijalne pregrade prisiljavaju da se okreće brzinom bubnja; bistra tekućina gore izlazi preko ustave blizu osi ili, ako se odvajaju dvije tekućine, jedna blizu osi a druga bliže zidu; čvrsta sastojina nakuplja se na zidu i mora se povremeno ručno ukloniti. Promjer bubnja je 10·15 cm, omjer dužina : promjer (H/D) 4·8, broj okretaja industrijskih izvedaba do 15 000/min; ubrzanje 13 000 g. Bubanj može primiti 6 litara čvrstog ostatka; protok je normalno od 3 do 50 l/min. Posebne izvedbe omogućavaju rad na povišenim temperaturama.

Područje upotrebe cijevnih centrifuga jest uklanjanje razmjerno malih količina vrlo finih čestica i vode iz različitih tekućina: koloidnog ugljika i vode iz transformatorskih ulja, onečišćenja i vode iz upotrijebljenih mazivih ulja, i sl.; upotrebljavaju se za bistrenje firnisa, vina, voćnih sokova, pri rafiniranju biljnih ulja, za uklanjanje krupnih čestica pigmenta iz lak-boja, pri dobivanju krvne plazme itd.

Centrifuge s tanjurima bile su najprije upotrijebljene za izdvajanje vrhnja iz mlijeka i još danas se za tu svrhu (pod nazivom *separatora*) najviše upotrebljavaju. (Negdje je rečeno da se separatora za mlijeko proizvodi više nego svih drugih centrifuga zajedno.) One se upotrebljavaju i za mnoge druge svrhe kao *purifikatori* (za istovremeno razdvajanje tekućina i odvajanje čvrstog taloga) i kao *klarifikatori* (samo za odvajanje čvrstog taloga). Mutna tekućina ulazi među konične tanjure u neutralni sloj kroz otvore smještene u tim tanjurima na pogodnoj udaljenosti od osi (v. sl. 3 b); teže čestice se ubrzavaju prema periferiji bubnja i nakon kratkog puta talože se na donjoj strani tanjura, onda se po njoj klišu do ruba tanjura i s njega se bacaju na zid bubnja (sl. 12). Ako je posrijedi odvajanje dviju tekućina (kao u slučaju mlijeka), teža se tekućina (obrano mlijeko) s periferije bubnja odvede do izlaza što bliže osi, a lakša (vrhnje), koja izlazi između gornjih krajeva tanjura, odvede se do otvora uz samu os. Tanjuri trenjem



Sl. 11. Cijevna centrifuga

1 ležaj, 2 vratilo, 3 poklopac šljema za laku tekućinu, 4 otvor za tešku tekućinu, 5 poklopac šljema za tešku tekućinu, 6 izlaz lake tekućine, 7 izlaz teške tekućine, 8 bubanj, 9 pločica za raspršivanje mlaza mutne suspenzije, 10 prstenasta vodilica, 11 dovod suspenzije, 12 pregrada, 13 otvor za laku tekućinu

uzimaju sobom tekućinu pri okretanju, tako da se među njima nalazi sloj koji s obzirom na bubanj miruje i time znatno olakšava razdvajanje tekućih emulzija. Čvrsta odvojena tvar se iz centrifuga diskontinuirane izvedbe vadi ručno, ali postoje izvedbe koje omogućavaju kontinuirano iznošenje čvrste faze u obliku gustog mulja. Za tu svrhu bubnju se daje oblik dvaju krnjih stožaca koji se dodiruju širim bazama (sl. 13); na tom obodu što ga tvori taj dodirni krug smještaju se tangencijalne sapnice \varnothing 0,75...2,5 mm iz kojih mulj kontinuirano štrca, ili niz ventila koji se automatski otvaraju u pravilnim razmacima vremena ili kad se nakupi dovoljno mulja; pri jednoj izvedbi oba stožca se u pravilnim razmacima vremena ili zavisno od nagomilane količine mulja odmaknu jedan od drugog tako da kroz nastalu rešku mulj izleti pod djelovanjem centrifugalne sile.

Kapacitet takvih centrifuga zavisi od broja tanjura i od kuba veličine tanjura; iz toga izlazi da je najpovoljnije da bude omjer $D/H \approx 1$. Centrifuge s tanjurima izvode se kao obješene i kao odozdo poduprte, promjera bubnja do 80 cm, $n = 3000 \dots 12000$

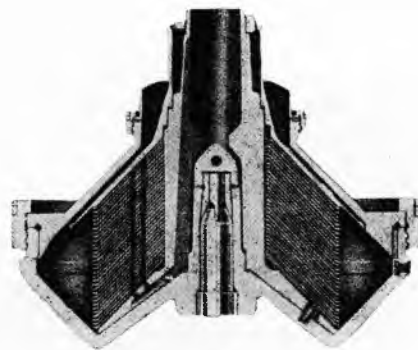


Sl. 12. Bubanj centrifuge s tanjurima

min^{-1} , $a_c = 12000$ g, snaga motora 15...125 KS. Razmak među tanjurima iznosi 0,75...2,00 mm, kut nagiba θ je obično 35° , ali može biti i $40 \dots 45^\circ$, njihov je broj 30...130. Upotrebljavaju se s hlađenjem do -40 i grijanjem do 200°C .

Obične centrifuge s tanjurima upotrebljavaju se, osim za obradu mlijeka i koncentriranje drugih emulzija, naročito lateksa prirodnog i umjetnog kaučuka, kao klarifikatori s diskontinuiranim radom, kad količina sitnih čvrstih tvari u tekućini ne iznosi više od 0,5%: pri čišćenju loživog ulja, kiselom rafiniranju naftnih frakcija; kao purifikatori pri rafiniranju masti i dobivanju ribljeg ulja, za uklanjanje vode iz goriva za mlazne avione. I polučvrste plastične tvari mogu se tako kontinuirano odvajati, npr. soapstock od rafiniranja biljnih ulja. Kontinuirane centrifuge sa sapnicama upotrebljavaju se za odvodnjavanje kaolina, u proizvodnji ribljeg ulja iz tekućine dobivene isprešavanjem riba, za koncentraciju škroba i glutena, za bistrenje fosforne kiseline dobivene mokrim postupkom, za koncentriranje kvasca iz medija gdje je rastao, za odvodnjavanje katrana, za dobivanje vunske masti. Centrifuge s ventilima upotrebljavaju se kad je količina čvrstog nešto veća, npr. 2...6%, ili kad se ne želi da se čestice taloga u sapnicama zdrobe. Centrifuge s izbacivanjem kroz reške upotrebljavaju se za krutije taloge u gušćim tekućinama, npr. pri čišćenju ulja na brodovima (v. str. 360).

Druga vrsta centrifuga u kojima se skraćuje put taloženja a produžuje vrijeme boravka u centrifugi jest *centrifuga s prstenastim komorama*. Unutrašnji prostor vertikalno smještene košare takve centrifuge razdijeljen je u nju ugrađenim cilindričnim pregradama na niz prstenastih komora, kroz koje je suspenzija na svom putu od centra do periferije prisiljena da



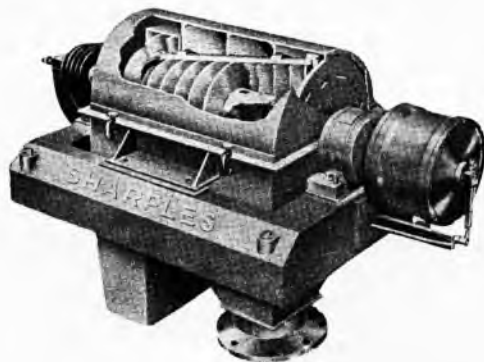
Sl. 13. Bubanj centrifuge s tanjurima, s automatskim izbacivanjem mulja

protječe. U takvoj centrifugi mogu da se zadrže veće količine taloga između dva čišćenja nego u centrifugi s tanjurima. Upotrebljava se npr. za čišćenje pivarskog koma, pri čemu ima kapacitet do ~ 120 l/min.

Centrifuge s kontinuiranim iznošenjem »suhe« čvrste faze. Centrifuge iz kojih se čvrsta faza, dobivena bilo sedimentacijom bilo filtracijom, iznosi kontinuirano u razmjerno suhom stanju u posljednje se vrijeme primjenjuju u sve širem obimu. Principi na kojima se osniva kontinuirano iznošenje jesu ovi: a) upotrebljava se horizontalni bubanj oblika krnjeg stožca s priklonom izvodnice malo većim od prirodnog kuta pokosa čvrstog materijala, tako da ovaj sam putuje od užeg do šireg otvora bubnja i napolje. Ako se konstrukcija napravi tako da bubanj oscilira u pravcu osi, iznošenje je brže i manje zavisno od slučajnih varijacija kuta pokosa; b) u unutrašnjosti bubnja se smjesti vrpčasti pužni transporter koji se okreće nešto brže ili nešto sporije (0,5...5%) nego bubanj, i čvrsti talog transportira na izlaz iz bubnja; c) u horizontalnom bubnju se smjesti klip koji oscilira u smjeru osi i time izbacuje talog čvrstog materijala.

Kontinuirane centrifuge bez transportnog uređaja, osnovane na principu a), troše vrlo malo snage, okreću se razmjerno sporo i upotrebljavaju se poglavito kao filterske centrifuge za odvodnjavanje ugljena krupnoće lješnika; s bubnjem promjera 1000 mm promjču do 25 t/h. Kontinuirane centrifuge s transporterom mogu biti filtracijske ili sedimentacijske, s horizontalnim ili vertikalnim, cilindričnim ili koničnim bubnjem. *Sedimentacijske centrifuge s*

transporterom redovito imaju horizontalni konični bubanj (sl. 14), tako da transporter izvlači sediment prema užem otvoru bubnja iz tekućine uz kosinu te se on na tom putu odvodnjava. (U cilin-

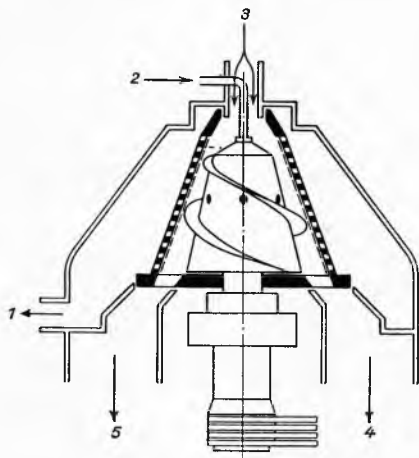


Sl. 14. Kontinuirana sedimentacijska centrifuga s transporterom

dričnom bubnju, gdje se tekućina bolje bistri zbog duljeg puta sedimentacije, obrazovanje konične »plaže« od samog sedimenta može se postići time što je transporter na izlazu koničan, sa zavojima sve manjeg promjera.) Tekućina izlazi preko udesive ustave na širem otvoru bubnja. *Filtracijske centrifuge s transporterom* su horizontalne ili vertikalne, imaju koničan bubanj i transporter koji izbacuje filterski kolač na širem otvoru bubnja (sl. 15). Na svom putu do izlaza kolač se može ispirati prskanjem vode iz pogodnih sapnika.

Kontinuirane centrifuge s transporterom grade se s bubnjem promjera $D \leq 140$ cm, H/D 1,5...3, $n = 500 \dots 4000$ /min, postignuta ubrzanja su 1600...8500 g. Kontinuirane filtracijske centrifuge ne daju tako suh talog kao diskontinuirane i automatske. Konični bubanj u kontinuiranim sedimentacijskim centrifugama daje suši talog od cilindričnog, ali mu je kapacitet manji. Standardne izvedbe mogu se grijati na 200 °C i staviti pod pritisak od ≤ 10 kp/cm². Upotrebljavaju se npr. za odvajanje kristala svake vrste, pri odvajanju ribljeg brašna iz tekućine dobivene ispresavanjem ribe, za odvajanje polivinilklorida i poliolefina u toku njihove fabrikacije, za odvodnjavanje uglja, za koncentraciju čvrstih tvari iz otpadnih voda i otpadnih tekućina u industriji. Kao klasifikatori upotrebljavaju se sedimentacijske centrifuge npr. za odvajanje krupnih čestica iz suspenzija kaolina i titan-dioksida, za odvajanje najgrubljih čestica iz suspenzija prije njihova ulaza u centrifugalne klarifikatore, npr. iz muljeva u rafinerijama nafte.

Filtracijska centrifuga s klipom (prema principu c) prikazana je na slici 16. Dovodeći preko razvodnika ulje izmjenično na jednu i drugu stranu klipa 4, osovinu se centrifuge daje aksijalno oscilacijsko gibanje amplitude 2...3 cm, koje se prenosi na klip 5 u bubnju; uslijed toga se ista dužina kolača periodski gurne preko



Sl. 15. Kontinuirana filtracijska centrifuga s transporterom

1 izlaz filtra, 2 ulaz vode za ispiranje kolača, 3 ulaz kristalne kaše, 4, 5 izlaz izbačenog kolača

rubu bubnja, a na drugom kraju kolača, na dnu bubnja, kolač se stalno produžava filtracijom suspenzije koja se onamo dovodi, strući preko konusa koji je ubrzava na brzinu okretanja bubnja. Takvi aparati, s bubnjevima 30...120 cm \varnothing , filtriraju 1...2 t/h kristala grubog i srednjegrubog zrna i drugi materijal koji se može u njima gurati klipom po površini filtra a da se kolač ne raspuca i ne mežura. Da bi se spriječio stvaranje pukotina na kolaču koji treba izapirati, smanjuje se put kolača pri svakoj oscilaciji i prostorno se odvaja filtracija od pranja, tj. upotrebljavaju se *višestepene centrifuge s klipom*: bubanj se sastoji od nekoliko košara sve većeg promjera, a klip brzim oscilacijama male amplitude baca kolač za redom iz uže košare u sve šire. Kapacitet takvih centrifuga iznosi do pedesetak tona grubih kristala na sat.

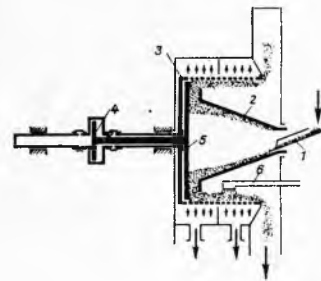
Općenito o izboru centrifuga. Centrifuge u poređenju s drugim aparatima za razdvajanje faza imaju znatnih prednosti: one rade brzo pa u odnosu na zauzeti tlocrtni prostor imaju velik kapacitet, one troše razmjerno malo snage, a bar jedna od faza u smjesi potpunije se odvaja od ostalih nego drugim mehaničkim postupcima: centrifugama odfiltrirani kristali i sedimentirani fini ili želatinozni muljevi mogu da sadrže manje vode nego drugim postupcima dobiveni. Pojedini tipovi centrifuge, kao što se vidjelo pri njihovom opisu, imaju svoje ograničeno područje korisnosti; iako se ta područja često presijecaju, redovito je razmjerno lako izbor pogodnog aparata za određenu primjenu svesti na mali broj tipova koji dolaze u obzir. Tabl. 1 ilustrira takav izbor za odvajanje čvrste i tekuće faze kad se polazi samo od dviju karakteristika obrađene suspenzije i od traženih svojstava produkta.

Tablica 1

PODJELA CENTRIFUGA PREMA PRIMJENI

Veličina zrna u suspenziji	Koncentracija čvrstog u suspenziji	Traženi produkt	Pogodni aparati
krupna	visoka	suha čvrsta tvar	Centrifuga s košarom (uklj. automatske i kontinuirane), kontinuirana filtracijska s transporterom
fina	niska	bistra tekućina	Cijevna centrifuga i centrifuga s tanjurima
fina	visoka	bistra tekućina	Sedimentacijska s kontin. ili autom. izbacivanjem mulja
krupna	niska	suha čvrsta tvar	Filtracijska kontinuirana s transporterom
fina	visoka	suha čvrsta tvar	Sušenje isparavanjem (ne centrifuga). Kontinuirana dekantacijska + sušenje. Kontinuirana filtracijska centrifuga s transporterom
krupna	niska	bistra tekućina	sito + cijevna centrifuga ili centrifuga s tanjurima
krupna	visoka	bistra tekućina	sito ili filter + cijevna ili s tanjurima ili automatska ili kontinuirana sedimentacijska
fina	niska	suha čvrsta tvar	cijevna ili s tanjurima + sušenje isparavanjem

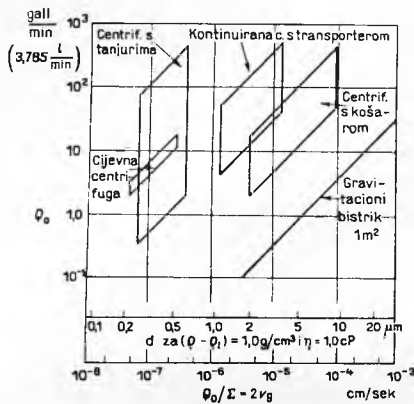
Tipovi i veličine *sedimentacijskih centrifuga* karakterizirani su maksimalnim protokom izbistrene tekućine i teorijskom brzinom taloženja, tj. veličinama Q_0 i $Q_0/\Sigma = 2v_g$ iz jednačbi (5) i (6). Performanse pojedinih tipova sedimentacijskih centrifuga u njihovim uobičajenim veličinama zauzimaju stoga određena područja u koordinatnom sistemu Q_0/Σ , Q_0 , kako je to prikazano na sl. 17. U toj slici navedeni su, kao druga skala apscisa, ekvivalentni promjeri čestica prema jedn. (10), za $(\rho - \rho_1) = 1,0$ g/cm³, $\eta = 1,0$ cP i odgovarajući Q_0/Σ . Za druge vrijednosti od $(\rho - \rho_1)$ i



Sl. 16. Kontinuirana filtracijska centrifuga s klipom

1 dovod kristalne kaše, 2 stožac za ubrzanje, 3 bubanj, 4 pogonski klip, 5 klip za izbacivanje kolača

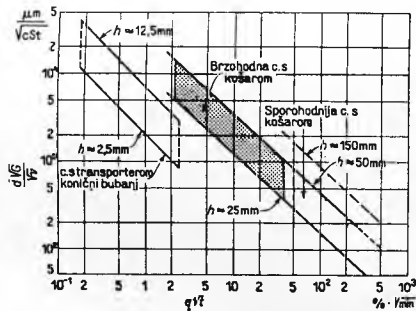
η treba izračunati Q_0/Σ koji odgovara čestici ekvivalentnog promjera $d = 1,0 \mu\text{m}$ prema empirijskoj jednadžbi $Q_0/\Sigma = 1,09 \cdot 10^{-4} \times (e - e_1)/\eta$ (e i η u navedenim jedinicama) i skalu ekvivalentnog



Sl. 17 Sedimentacijske centrifuge u dijagramu $Q_0/\Sigma, Q_e$

promjera pomaknuti tako da se odgovarajući Q_0/Σ i d poklapaju. S pomoću tog dijagrama može se odrediti koja vrsta sedimentacijske centrifuge dolazi u obzir za određenu separaciju, uz određeni Q_0, e, e_1 i η , a s time da se uklone sedimentacijom sve čestice iznad određenog d .

Za filtracijsko centrifugiranje važni su parametri: filterska površina, ubrzanje centrifugalne sile u konačnoj zoni odvodnjavanja i debljina kolača, koja određuje vrijeme boravka u centrifugi i volumni protok kroz nju. Kako se vidi iz jedn. (11), veličina čestica kolača i viskozitet matičnog luga imaju jak utjecaj na konačnu vlažnost kolača. Na sl. 18 nanijeti su granični pravci



Sl. 18 Filtracijske centrifuge u dijagramu $q\sqrt{t}, \bar{d}\sqrt{G/v}$. Maksimalni rasponi vrijednosti G jesu: za brzohodne centrifuge s košarom 900...1250, za sporohodnije 450...900, za centrifuge s transporterom i koničnim bubnjem, 1600...3500

prema jedn. (12) za dvije važne vrste filtracijskih centrifuga, a za tipične debljine kolača h . Pri tom je \bar{d} određena srednja vrijednost čestica, a t vrijeme boravka u centrifugi, koje je za diskontinuirane centrifuge otprilike jednako duljini ciklusa minus vrijeme izbacivanja i »mrtva« vremena (čišćenje filtra itd.), a za kontinuirane se centrifuge može izračunati iz brzina okretanja bubnja i transportera. Ako su poznati \bar{d}, v i željeni q , s pomoću relativnog ubrzanja G koji za određeni tip centrifuge redovito ne varira unutar širokih granica, može se izračunati $\bar{d}\sqrt{G/v}$; svaka centrifuga za koju, uz odgovarajući G , izračunati $\bar{d}\sqrt{G/v}$ pada u područje između tipičnih h , dolazi u obzir za dotičnu separaciju. Za centrifugu koja je izabrana (na osnovu drugih okolnosti, kao opseg proizvodnje itd.) treba izabrati pogodni h i za nj pročitati odgovarajući $q\sqrt{t}$ na osi apscisa. Iz te vrijednosti može se izračunati t , iz njega trajanje ciklusa, a s pomoću toga potrebna filterska površina iz odnosa:

$$A_t = \frac{t_c \dot{V}}{h}$$

gdje je A_t filterska površina, t_c trajanje ciklusa, \dot{V} traženi volu-

men filterskog kolača u jedinici vremena, a h debljina kolača. S pomoću standardnih površina filtracije za različite veličine izabranog aparata može se odrediti veličina i potrebni broj centrifuga.

Kako se vidi i na primjeru tabl. 1, ni načelno se ne može problem razdvajanja faza u svim slučajevima riješiti centrifugom ili samo centrifugom. Ali i u slučajevima kad je takav širi izbor moguć i razmjerno lagan, uži izbor povoljnog aparata po pravilu je vrlo težak; on se ne može provesti bez pokusa u četvrtindustrijskom, poluindustrijskom pa čak i industrijskom mjerilu, a nerijetko ima i negativan rezultat, tj. pokazuje da u razmotrenom slučaju primjena centrifuge zbog tehničkih ili ekonomskih razloga ne dolazi u obzir. Npr. kontinuirane sedimentacijske centrifuge dobro odvajaju vrlo sitne čestice samo ako imaju vrlo veliku gustoću u odnosu na gustoću tekućine (a da se čestice koje su specifički lakše od tekućine sedimentacijom uopće ne mogu odvojiti, a priori je jasno); fini muljevi se u centrifugama teško mogu do kraja oprati, a na kontinuiran način nikako; centrifuge, napose kontinuirane, rijetko daju savršeno bistrice tekućine; ako su količine suspenzije razmjerno velike, a vrijednost produkta mala (npr. pri čišćenju otpadnih voda) trošak snage za pogon centrifuge ne može ekonomski podnijeti. Često potpuno zadovoljavaju gravitacijski taložnici, a kudikamo su jeftiniji. Filtracijska centrifuga načelno je vrlo pogodna za odvajanje kristala, ali u konkretnom slučaju granulometrijski sastav kristalnog kolača, tvrdoća i krtoš kristala, priroda matičnog luga, koncentracija kristalne kaše, veličina produkcije itd. mogu ograničiti ili onemogućiti primjenu centrifugiranja. Kolač koji sadrži više od 15 ili 20% vlage rijetko se iz kontinuirane centrifuge može glatko izbacivati; ako su kristali tako sitni da zahtijevaju upotrebu filterskog platna ili papira, i/ili kao kolač vrlo sporo propuštaju tekućinu, dužina ciklusa ekonomski ne opravdava automatizaciju. U oba ta slučaja centrifugiranje će doći u obzir samo ako je obim produkcije takav da se može upotrijebiti diskontinuirana centrifuga s bubnjem.

U ekonomskoj računici pri izboru sistema razdvajanja suspenzija potrebno je obuhvatiti proces separacije u njegovoj cjelini. Onda, npr., činjenica da centrifuga može dati produkt koji sadrži vrlo malo tekućine može doći ekonomski do izražaja time što možda otpada svako dalje sušenje produkta, ili što za ispiranje treba vrlo malo tekućine pa se matični lug (koji možda treba uparavati) malo razrjeđuje, ili što talog možda uopće ne treba ispirati radi dobivanja onih malih količina topljive tvari zaostale u njemu. S druge strane izbor operacija koje centrifugiranju prethode mogu na ekonomiku i tehniku centrifugiranja imati jak, pa i presudan utjecaj; npr. filtracija u centrifugi može se jako pogoršati ako se kristali u pumpama i miješalicama usitnjavaju, sedimentacija u centrifugi može se poboljšati i pojeftiniti ako se čestice u suspenziji pogodnim sredstvima flokuliraju, ili se čestice određenih veličina prethodno na drugi način uklone.

Ako, dakle, centrifugiranje i nije univerzalno rješenje problema mehaničkog razdvajanja faza, područje njegove primjene je široko i brzo se dalje širi. U prvim godinama ovog stoljeća centrifuge su se u većoj mjeri upotrebljavale gotovo samo u šećeranama i za prerađu mlijeka; danas ima niz drugih industrija koje se bez primjene centrifuga teško mogu zamisliti. Proizvođači centrifuga razvili su bezbrojne varijante osnovnih tipova da bi ih prilagodili specijalnim svrhama; primjena nekorodibilnih materijala (krom-nikalnih čelika, monel-metalna, titana, prevlaka od tvrde gume itd.), mogućnost rada na povišenim i vrlo niskim temperaturama, pod visokim pritiskom i u vakuumu, znatno su proširili područje na kojemu se centrifuge primjenjuju ili mogu primijeniti. Velik broj standardnih primjena spomenut je pri opisu pojedinih tipova. Da se spomenu još neke manje obične: kao klasifikatori u optočnom mokrom mljevenju ruda, za impregniranje različitih materijala, za uklanjanje suvišnog laka pri lakiranju sitnih predmeta, za rekuperaciju ulja sa metalnih strugotina, za rekuperaciju ulja iz kondenzata parnih strojeva, u kemijskim čistionicama za odvajanje otapala od odijela i za čišćenje upotrijebljenog otapala, za pripremu ljevačkog pijeska, za odvajanje izomera frakcioniranom kristalizacijom, za odvajanje leda pri desalinaciji morske vode, pri dobivanju penicilina i insulina, za odvajanje bakterija spora i virusa, za odvajanje kosti od mesa usitnjenih pilića, za

rekuperaciju srebra iz otpadaka fotografskih i kinematografskih filmova, za bistenje mošta i vina, u proizvodnji štamparskih boja. Na koncu treba spomenuti tzv. reakcijske centrifuge: već prije dosta dugog vremena se upotrebljavala za nitriranje celuloze centrifuga u kojoj je miješana kiselina uz malu brzinu okretanja cirkulirala kroz celulozu u bubnju, a po završetku reakcije se brzim okretanjem rupičavog bubnja izbacivala iz nitrirane celuloze. Danas su centrifuge upotrijebljene za provođenje reakcija tekućina s čvrstim tvarima i pod pritiskom.

LIT.: B. Bloch, J. Lévy, Clarification et séparation des liquides par la force centrifuge, Paris 1931. — B. И. Соколов, Центрифуги, Москва 1950. — В. И. Соколов, Д. Е. Шкоропад, Автоматические и непрерывнодействующие центрифуги, Москва 1954. — S. Kießkalt, Zentrifugen, Berlin 1958. — H. Gebhardt, Zentrifugalseparatoren, Nürnberg 1959. — C. I. Bremer, Flüssigkeitszentrifugen, Berlin 1960. — A. C. Lavanchy, F. W. Keith, Jr., J. W. Beams, Centrifugal separation, u djelu: Kirk-Othmer, Encyclopedia of chemical technology, 2nd ed., vol. 4, New York 1964.

R. Podhorsky

CER (cerium, Ce, at. br. 58, at. tež. 140,12), kemijski element, najrašireniji i najvažniji metal lantanove serije. U Zemljinjnoj kori ima ga $\sim 0,007\%$, dakle više nego arsena, kositra, olova, žive i bakra. U prirodi dolazi pomiješan s drugim rijetkim zemljama (osobito s ceritnim zemljama: La, Pr, Nd i Sm), a najviše ga ima u monacitskom pijesku. Tehnički je važna legura ceritnih metala (sa $\sim 50\%$ cera), koja se u obliku piroferne legure sa željezom upotrebljava za izradu kresiva za upaljače. Značajna je i primjena cera u metalurgiji. Spojevi cera upotrebljavaju se najviše u staklarskoj i optičkoj industriji.

Cer je 1803 otkrio M. H. Klaproth, a iste godine nezavisno od njega otkrili su ga J. J. Berzelius i W. Hisinger. Element je dobio ime prema imenu asteroida Ceres, otkrivenog 1801. C. G. Mosander dobio je 1826 elementarni cer, u obliku smeđeg praha, redukcijom cer-klorida pomoću kalijuma. 1867 F. Wöhler je taljenjem cer-klorida s natrijumom dobio metalne kuglice cera od 50–60 mg, koje su možda bile onečišćene natrijumom. G. Winkler je 1891 redukcijom cer-oksida magnezijumom priredio nečisti element u obliku crnog praha. M. Moldenhauer je 1914 reducirao cer-trifluorid kalcijumom i tako dobio leguru cera sa $\sim 12\%$ kalcijuma. Elektrolitički postupak za dobivanje cera i legure ceritnih metala najprije su primijenili R. Bunsen, F. Hillebrand i A. Norton. Tehniku su usavršili W. Borchers (1888), L. Stockem (1901) i W. Muthmann, H. Hofer i L. Weiss (1902). Ovi posljednji autori konstruirali su aparaturu u kojoj su uspjeli za 5–6 sati rada dobiti 250–270 g cera ili smjese ceritnih metala. Pomoću aparata konstruiranog na principu Heroultove peći za dobivanje aluminijuma, W. Muthmann, L. Weiss i J. Scheidemantel (1907) uspjeli su iz oksida i fluorida cera za 50 minuta proizvesti 650 g čistog metalnog cera. U sasvim čistom stanju (99,99%) cer je proizveden tek 1936.

U prirodi cer se najčešće nalazi u smjesama s drugim metalima rijetkih zemalja; u takvim smjesama oksida cera ima redovno koliko svih ostalih rijetkih zemalja zajedno.

Najvažnija ruda cera je monacit, fosfat elemenata lantanove serije (pretežno ceritnih zemalja) i tora. Čisti monacitski mineral tvori većinom srasle monoklinske kristale svijetložute do crvenosmeđe boje, tvrdoće po Mohsu 5,0–5,5, d 4,8–5,5. Monacita najviše ima u obliku zrnaca na nekim pješćanim obalama koje su nastale raspadanjem i trošenjem okolnih granitnih i pegmatitnih stijena (*monacitski pijesak*). Veliko nalazište monacita je blizu Van Rhynsdorpa u Južnoj Africi. Pješćane plaže duž jugozapadne obale Indije (Travancore) sadrže preko 1,4 Mt monacita. Znatna su još nalazišta u Brazilu, Egiptu, USA (Južna Karolina, Idaho, Florida) i SSSR, a manja u Argentini, Australiji, Kanadi, Malgaškoj Republici, Urugvaju, Indoneziji, Koreji, Formozi, Maljeziji i kod nas u Makedoniji. Budući da su Brazil i Indija u novije vrijeme reducirali izvoz monacita (zbog sadržaja tora), najznačajniji izvoznik monacitske rude u svijetu postala je Južnoafrička Republika.

Da bi se dobila 1 t monacita, potrebno je pročititi ~ 400 t monacitskog pijeska. Analiza čistog monacita pokazuje u prosjeku ovaj sastav: 30% CeO₂, 29% ostalih ceritnih zemalja, 3–4% itrijumskih zemalja, 6% ThO₂, 29% P₂O₅, 1,5% SiO₂. Sadržaj tora može prilično varirati (od 5 do 19% ThO₂). Monacit je radioaktivan, a uz tor sadrži i produkte njegovog radioaktivnog raspada: mezotor i helijum. Svaki 1000 t monacita sadrži oko 3,5 g mezotora. Cijena monacita kreće se u USA oko 100–175 dolara po toni.

Druge važnije rude cera jesu cerit i bastnesit. Cerit je silikat cera sa kalcijumom i željezom, a sadrži i manje količine lantana i drugih rijetkih zemalja. Tvori rompske, smeđe, crvenosive ili tamnocrvene sjajne kristale d 4,8–5,0, tvrdoće po Mohsu 5,5. Najviše ga ima u Švedskoj (Tunaberg). Bastnesit je fluorokarbonat rijetkih zemalja i druga po važnosti ruda cera. Za razliku od monacita sadrži više lantana, manje teških rijetkih zemalja i

samo $\sim 0,1\%$ tora. Tvori heksagonske kristale tvrdoće po Mohsu 4,0–4,5, d 4,9–5,2. U čistom stanju mineral je poluproziran, voštanožute do crvenosmeđe boje. Otkriven je u Švedskoj (u rudniku Bastnäs kod Ryddarhyttana, 1920). Najveće rezerve bastnesita nalaze se u području Mountain Pass u Kaliforniji (preko 2 Mt cere). Međutim, mineral se zasada još ne eksploataira u velikoj mjeri.

Prirodni cer sastoji se od 4 stabilna izotopa: ¹³⁶Ce (0,193%), ¹³⁸Ce (0,250%), ¹⁴⁰Ce (88,48%) i ¹⁴²Ce (11,07%). Umjetno su dobiveni radioaktivni izotopi cera s masenim brojevima 133, 134, 135, 137, 139, 143, 144, 145 i 146. Radioaktivni izotopi cera nalaze se među produktima fisije tora, urana i plutonijuma.

Cer je prvi element iz grupe lantanida, elemenata s atomskim brojevima od 58 do 71. Pojedini lantanidi pokazuju s povišenjem rednog broja sukcesivno popunjenje dobro zaštićene elektronske ljuske 4f, a istovremeno svi zadržavaju jednaku vanjsku elektronsku konfiguraciju 5d¹, 6s². Kao posljedica toga, tim elementima se s porastom rednog broja smanjuje promjer atoma (tzv. lantanidska kontrakcija), snizuje reaktivnost i bazičnost trovalentnog iona, a povećava stabilnost kompleksnih spojeva. Ipak, svojstva pojedinih susjednih elemenata te grupe veoma su slična, pa ih je zato iz prirodnih smjesa teško odijeliti. Elementi lantanove serije (u koju osim lantanida pripada i lantan s atomskim brojem 57) u vodenoj otopini imaju oksidacijsko stanje 3+, što odgovara idealnoj elektronskoj konfiguraciji 4f^m, 5s² 5p⁶ 5d¹, 6s²; ipak se za većinu elemenata te serije uzima da imaju elektronsku konfiguraciju 4f^m, 5s² 5p⁶, 6s², gdje je $m = n + 1$.

Cer ima dva oksidacijska stanja: 3+ (cero-) i 4+ (ceri-). Viša valencija pripisuje se djelomičnom pomaku jednog elektrona od nivoa 4f na nivo 5d. Cero-spojivi [cer(III)-spojivi] slični su spojevima trovalentnih elemenata lantanove serije, a ceri-spojivi [cer(IV)-spojivi] pokazuju više srodnosti sa spojevima titana, cirkonijuma i tora. Cero-soli, izvedene od relativno jake baze Ce(OH)₃, bezbojne su, paramagnetične i samo slabo se hidroliziraju u otopini. Ceri-soli, izvedene od slabe baze CeO₂, kiselije su, žuto do narančasto obojene, dijamagnetične, teže topljive, a jače se hidroliziraju i sklonije su stvaranju kompleksnih spojeva; djeluju kao jaka oksidacijska sredstva i lako se reduciraju djelovanjem halogenovodičnih kiselina, oksalne kiseline, fero-soli i dr.

Odvajanje cera od ostalih rijetkih zemalja u rudama.

Kao jedini element lantanove serije koji je i četverovalentan, cer se razmjerno lako kemijski odvaja iz smjesa sa srodnim elementima u kojima dolazi u prirodi. Danas se cer najviše dobiva kao sporedni produkt pri proizvodnji tora iz monacitskog pijeska. Zasada je još uvijek najznačajniji postupak za dobivanje cera obrada monacitske rude sumpornom kiselinom, pri čemu najprije nastaju bezvodni, lako topljivi sulfati rijetkih zemalja. Pri tom se iz smjese odvaja tor. Grijanjem približno jednake količine monacitskog pijeska i 98%tne sumporne kiseline, uz dodatak nešto dimljive H₂SO₄, dobiva se produkt u kome se tor nalazi u netopljivom obliku, pa se filtriranjem lako odvaja od ostalih metala. Ako smjesa sadrži više sumporne kiseline (bez dodatka dimljive H₂SO₄), tor će se u produktu nalaziti u obliku topljivog bezvodnog sulfata, jednako kao i druge rijetke zemlje. U tom slučaju tor se može naknadno odvojiti taloženjem natrijum-pirofosfatom kao tor-pirofosfat, ili se dodatkom lužine istaloži u obliku bazne soli. Poslije uklanjanja tora, rijetke zemlje istalože se kao oksalati (dodatkom oksalne kiseline) ili kao dvostruki sulfati s natrijumom (obrađivanjem natrijum-sulfatom). Ovo taloženje vrši se da bi se uklonila fosforna kiselina koja se oslobodila otapanjem monacitskog pijeska u H₂SO₄. Postupak s oksalnom kiselinom daje potpunije iskorištavanje, a obrada natrijum-sulfatom omogućava odvajanje itrijumske grupe rijetkih zemalja, koja ostaje u otopini. Dobiveni talozi kuhaju se s natrijum-hidroksidom i tako se dobivaju hidroksidi rijetkih zemalja, a iz njih sušenjem na zraku hidratirani oksidi; među njima je jedino cer u četverovalentnom obliku. Budući da je hidratirani ceri-oksidi teže topljiv u kiselom medijumu od hidratiranih trovalentnih rijetkih zemalja, razmjerno ga je lako odvojiti. Na taj se način može dobiti produkt sa 90% i više CeO₂.

Drugi postupak prerade monacita sastoji se u grijanju rude sa 65–70%tnom natrijumskom lužinom, pri čemu fosfati iz