

ragda: on je puštao da kristalić-jezgra raste u rastaljenom kiselom litijum-molibdatu u kojemu su bili otopljeni Al_2O_3 , SiO_2 i BeO .

U novije vrijeme izradio je Linde Division hidrotermalni postupak dobivanja smaragda koji se 1966 počeo prenositi s laboratorijskog u industrijsko mjerilo. U tom postupku veliki se kristali smaragda dobivaju time što se na visokoj temperaturi i pod visokim pritiskom pušta da raste pločica-jezgra u presiječnoj otopini berilijum-aluminijum-silikata koja sadrži kroma. Na taj način su napravljene kristali teži od 2,5 karata, a postojali su svi uvjeti da se izrade i mnogo veći.

Smaragd se zasad upotrebljavaju gotovo samo za izradu nakita; u izvjesnoj mjeri upotrebljavaju se za izradu lasera.

LIT.: H. Michel Die künstlichen Edelsteine, Leipzig *1926. — F. Krauß, Synthetische Edelsteine. Berlin 1929. — E. H. Krauß, C. B. Slavson, Gems and gem materials, New York *1947. — L. Merker, The synthetic stone industry in Germany, FIAT Final report 1001 (1947). — J. Kaspar, Synthetické korundy, jejich výroba, zpracování a použití, Praha 1951. — K. F. Chudoba, E. S. Gübelin, Schmuck- und Edelsteinkundliches Taschenbuch, Bonn 1953. — W. Fischer R. Schlee, A. Neuhaus, Edelsteine, synthetische, u djelu: W. Foerst, Herausg., Ullmanns Encyclopädie der technischen Chemie, 6. Bd, München-Berlin 1955. — R. H. Wentorf, Jr., Carbon (Diamond, synthetic), u djelu Kirk-Othmer, Encyclopedia of chemical technology, vol. 4, New York *1964.

A. Jean

DROBLJENJE, prvi stepen sitnjenja, tj. postupka smanjivanja zrna čvrstog materijala njegovim razbijanjem pomoću vanjskih sila. Osim drobljenja, sitnjenje obuhvata i mljevenje kao drugi tehnološki stepen, ali u načelu između drobljenja i mljevenja nema razlike. Podjela se obično vrši prema veličini dobivenog produkta; drobljenjem se dobivaju krupniji a mljevenjem sitniji komadi; kao praktična granica može se uzeti veličina od nekoliko milimetara (ruski autori, npr., obično uzimaju 5 mm). Prema prijedlogu Amerikanca Taggarta dioba između drobljenja i mljevenja uslovljena je konstrukcijom odgovarajućih uređaja: u drobilicama radni (drobeći) elementi ne mogu se međusobno dirirati, a u mlinovima moglo bi doći do takvog kontakta da ga ne sprečava materijal koji se melje.

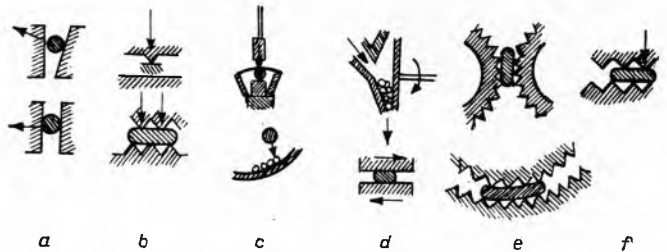
Procesi sitnjenja važan su dio tehnološkog postupka, u prvom redu u rudarstvu, ali također u građevinarstvu, cementnoj, keramičkoj, farmaceutskoj i kemijskoj industriji općenito. Smatra se da se danas u svijetu samo u rudarstvu sitni više od dvije milijarde tona korisnih mineralnih sirovina godišnje, a da po broju zaposlenih samo zemljoradnja premašuje broj zaposlenih u postrojenjima za sitnjenje.

I pored ovog očividno velikog značenja sitnjenja u savremenoj tehnici i uprkos činjenici da ono spada među prve tehnološke procese kojima se služio već i primitivni čovjek, postupci sitnjenja po svojim rezultatima ne zadovoljavaju u energetskom, pa zato ni u ekonomskom pogledu. Rad je u tehničkim procesima sitnjenja vezan s velikim gubicima: za savlađivanje kohezije čestica korisno se troši samo malen dio uloženog rada. Zato je koeficijent iskorišćenja energije izvanredno nizak; rijetko kada dostiže i 1%, a najčešće je znatno niži. Poblje o teoriji drobljenja v. *Sitnjenje*.

Svrha drobljenja, kao i općenito sitnjenja, može biti dvojaka: proizvodnja zrna određenih veličina ili specifičnih površina i razdvajanje sraslih minerala (tzv. raščin). Primjeri su za drobljenje radi dobivanja određenih veličina zrna: drobljenje rovnog ugljena na klase (»asortimane«) pogodne za prodaju, drobljenje stijena iz kamenoloma za tucanik ili beton, drobljenje sirovina u industriji cementa, drobljenje krečnjaka u industriji kalcijum-karbida, drobljenje prirodnog fosfata u industriji gnojiva, drobljenje željeznih ruda prije šaržiranja u visoku peć; primjer za raščin je drobljenje mnogih ruda radi odvajanja korisne supstancije od jalovine.

Stepen drobljenja je pokazatelj učinka drobilice u pogledu smanjenja zrna. Obično se definira kao omjer između veličine najvećeg zrna prije i poslije drobljenja; u Americi se izrazom »reduction ratio« označuje omjer između veličine otvora probnih sita na kojima prije i poslije drobljenja ostaje 20% materijala. Stepen drobljenja pojedinih vrsta drobilica razlikuje se unutar širokih granica; iznosi npr. od 3 do 7 za čeljusne drobilice, do 20 za Symonovu drobilicu, do 50 za udarne drobilice i čekićare, i do 150 za stupe. Čeljusna drobilica, prema tome, kadra je zdrobiti najveći komad materijala koji još može ući u nju na komade bar 3...7 puta manje (po linearnoj dimenziji), Symonova drobilica na komade bar 20 puta manje itd.

Podjela aparata za drobljenje može se provesti sa različitim gledišta. Razlike među materijalima u pogledu tvrdoće, čvrstoće, lomljivosti, kalavosti, krтости i stepena sraslosti dovele su do podjele tehnike drobljenja na drobljenje tvrdog, srednjotvrdog i mekog materijala; prema razlikama između dimenzija najvećih komada materijala koji se podvrgavaju drobljenju, odn. zrna zdrobljenog materijala, razlikuju se drobilice za primarno (grubo) i za sekundarno (srednje i fino) drobljenje. Može se uzeti da primarne drobilice daju proizvod veličine između 20...30 i 100...120 mm a sekundarne proizvod manji od 20...30 mm pa do gornje granice mljevenja (nekoliko milimetara). Prema silama koje izazivaju razbijanje materijala može se razlikovati drobljenje gnječanjem, kidanjem, udaranjem i trenjem. Pojedine konstrukcije uređaja za drobljenje rijetko se koriste samo jednim od tih djelovanja; obično u jednom uređaju dolazi do izražaja više

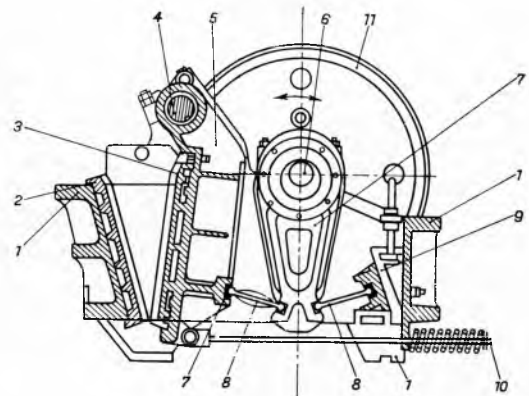


Sl. 1. Principi djelovanja uređaja za sitnjenje. a Gnječanje, b cijepanje, c udar, d trenje, e kidanje, f savijanje

načina drobljenja. Ipak, mahom prevladuje jedan a drugi su podređeni, pa se stoga podjela po silama drobljenja prilično poklapa s podjelom po konstrukcijama uređaja za drobljenje (sl. 1).

Iako su neke mašine namijenjene prvenstveno drobljenju samo tvrdog ili samo mekog materijala, samo grubom ili samo finom drobljenju, navedene se podjele među sobom mnogostruko presijecaju. Vrlo često mašine načelno jednake konstrukcije upotrebljavaju se, uz pogodne modifikacije izvedbe, za drobljenje i tvrdog i mekog materijala, i za grubo, i za srednje ili fino drobljenje (pa i za mljevenje). Zbog toga, u prikazu najvažnijih drobilica datom u nastavku nećemo se držati nijedne od navedenih podjela, nego ćemo drobilice grupirati prema načelnim konstrukcijama i navoditi za koje je vrste drobljenja pojedina konstrukcija pogodna. Grupe drobilica koje će biti tako prikazane jesu: čeljusne drobilice, kružne ili konusne drobilice, drobilice s valjcima, čekićare, udarne drobilice, dezintegratori i stupe.

Čeljusne drobilice su uređaji koji se i danas još, iako je prošlo više od jednog stoljeća otkako je prvi od njih konstruiran (Blake 1854), u primarnom drobljenju najviše upotrebljavaju. One djeluju time što materijal prvenstveno gnječe, a djelomično također rastiru u prostoru između dvije čeljusti, od kojih je jedna obično nepomično pričvršćena za okvir drobilice, a druga je pokretna. Otvor tog prostora na njegovu vrhu zove se *ždrijelo*, a otvor na



Sl. 2. Čeljusna drobilica tipa Blake. 1 Kućište drobilice, 2 nepokretna čeljust, 3 pokretna čeljust, 4 osovinu njihala, 5 njihalo, 6 vratilo ekscentra, 7 glavna poluga, 8 raspone ploče, 9 klin za podešavanje ispusta, 10 zatezna šipka, 11 zamašnjak

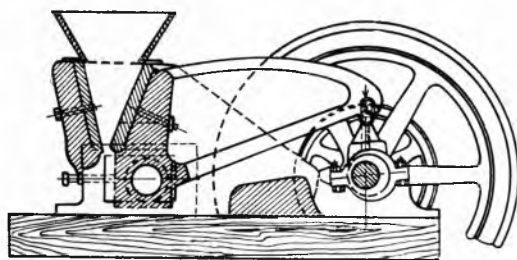
dnu, *ispust*; širina ždrijela zove se *zijek*. S obzirom na položaj osi oko koje oscilira pokretna čeljust razlikuju se dva principa, ostvarena u dva klasična tipa čeljusnih drobilica: tipa Blake i tipa Dodge. U drobilici prvog tipa os njihanja čeljusti je gore kod ždrijela, u drobilici drugog tipa ona je dolje kod ispusta.

Čeljusna drobilica Blake prikazana je na sl. 2. Na jakom okviru 1 od lijevanog željeza pričvršćeni su nepokretna čeljust 2, njihajna osovina 4, pokretna čeljust 3 i pogonsko vratilo 6 s ekscentrično učvršćenom glavnom polugom 7. Glavna poluga prenosi pogonsku silu motora na pokretnu čeljust preko dviju rasponih ploča 8. Ploče su na jednoj strani zglobno pričvršćene za glavnu polugu, a na drugoj je strani lijeva ploča vezana za pokretnu čeljust a desna za okvir drobilice. Kad se glavna poluga u toku prve polovine okretaja pogonskog vratila diže, raspone se ploče približavaju vodoravnom položaju i razmak između čeljusti postaje manji, pa se pri tom među čeljusti nasuti materijal gnječi i tare. U drugoj polovini okretaja glavna se poluga, a istovremeno s njom i pokretna čeljust, vraćaju u prvobitni položaj. U toj se fazi prostor za drobljenje povećava, materijal uslijed svoje težine klizne dublje naniže, odnosno ispada iz drobilice ukoliko je već dovoljno izdrobljen. Na putu u prvobitni položaj pokretnu čeljust vuče još i zatezna šipka 10 s oprugom. Kako se drobljenje odvija na mahove, opterećenje se drobilice mora kompenzirati zamašnjacima kojih obično ima dva, te jedan služi i kao remenica. Radna je površina čeljusti ravna ili slabo ukrivljena, glatka ili rebrasta. Bokovi prostora za drobljenje zaštićeni su od pretjeranog habanja klinastim uložcima od (austenitnog) manganskog čelika. Okvir pa i čeljusti velikih drobilica izrađeni su od više dijelova koji se spajaju vijcima.

Zijek Blakeove drobilice podešava se u manjoj mjeri klinovima 9 između desne raspone ploče i okvira, a u većoj mjeri izmjenom rasponih ploča. Dimenzije čeljusnih drobilica daju se uglavnom širinom (zijevom) i dužinom ždrijela; te dvije dimenzije variraju u širokim granicama, obično od 175×250 do 1500×2000 mm, ali dostižu i 2000×3000 mm i više. Ispust Blakeove drobilice je promjenljiv, on je gotovo zatvoren kad su čeljusti u najbližem položaju a otvoren kad su najviše razmaknute. Širina ispusta iznosi $\frac{1}{3} \dots \frac{1}{5}$ zijeva. Kut što ga zatvaraju čeljusti u tačkama gdje dodiruju zrna materijala zove se prihvatni kut. Kad su površine čeljusti ravne, prihvatni je kut svagdje jednak, kad su ukrivljene, prihvatni kut raste od ispusta naviše. Što je manji prihvatni kut to je veći kapacitet drobilice, ali je zato stepen drobljenja to manji.

Zrnatost materijala izdrobljenog u čeljusnoj drobilici nije jednolika. Pri drobljenju materijala koji se lomi pločasto i iverasto veličina najvećih čestica može biti i veća od zijeva (tzv. nadzrna); s druge strane, zbog tarnog djelovanja čeljusti, u produktu ima mnogo praha. Nejednolichnost drobljenog materijala predstavlja nedostatak koji je očevidan osobito ako je stepen drobljenja veći od 5. Zbog toga je primjenljivost drobilica ovog tipa ograničena na grubo drobljenje, do veličine čestica ~ 80 mm.

Droblanicu tipa Dodge prikazuje sl. 3. Da bi postigao veću ravnomjernost u veličini najvećih čestica u produktu, konstruktor je njihajnu osovinu premjestio na donji dio pokretne čeljusti.

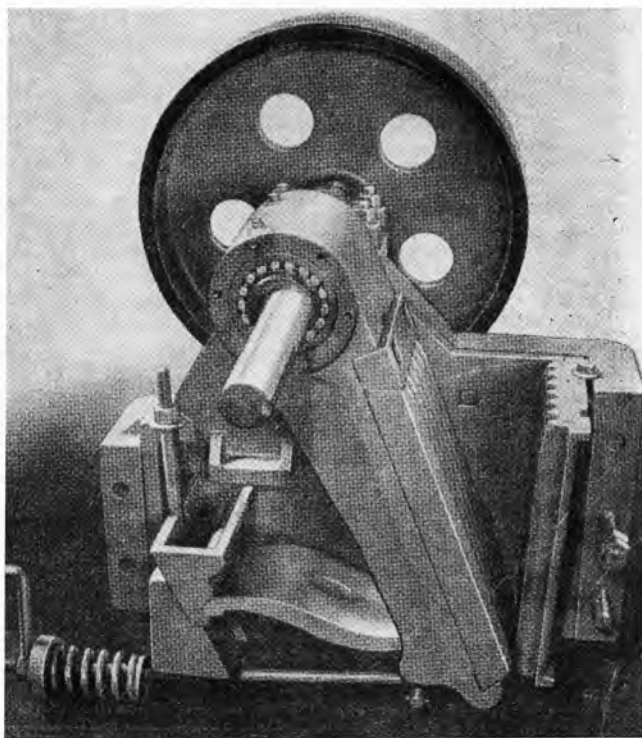


Sl. 3. Čeljusna drobilica tipa Dodge

Širina ispusta je tu konstantna, a pokretna čeljust postiže svoju najveću amplitudu na samom ždrijelu. U konstruktivnom pogledu ovaj tip ima ove nedostatke: nepromjenljivi ispust dovodi do njegova začepjenja, prihvatni se kut smanjuje u fazi međusob-

nog približavanja čeljusti, raspodjela sila na čeljusti također nije povoljna. Nasuprot tome su prednosti ovog tipa drobilice što je, uslijed duljeg boravka materijala među čeljustima, djelotvornost mljevenja veća, a proizvod je ravnomjerniji po veličini i više kockasta oblika.

Droblanicu s jednom rasponom pločom (sl. 4) razlikuju se od dosad opisanih konstruktivno i po načinu rada. Pokretna je čeljust ekscentrično obješena neposredno za pogonsko vratilo, tako da

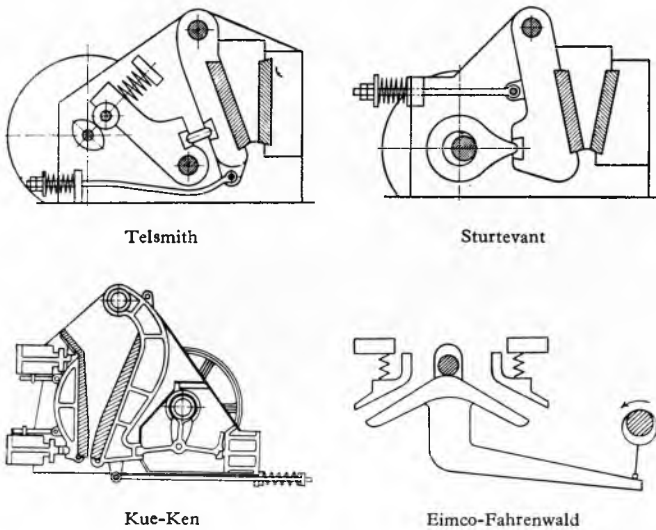


Sl. 4. Čeljusna drobilica s jednom rasponom pločom

ta čeljust preuzima ulogu glavne poluge, a otpada jedna raspona ploča. Čeljust sa svojim gornjim i donjim dijelom opisuje eliptičnu krivulju koja ozgo naniže postaje pljosnatija, tako da čeljust u većoj mjeri djeluje trenjem i posmikom, a to povlači za sobom povećanje udjela praha i sitnih čestica u produktu. Ispust se mijenja samo malo, pa se time povećava ravnomjernost veličine najvećih čestica. Nedostatak je ovih drobilica što su pogonsko vratilo i njegovi ležaji jako opterećeni jer se reakcione sile pokretne čeljusti neposredno prenose na nju, pa je habanje veće nego u drobilicama tipa Blake. Zato je kapacitet tih drobilica bio ograničen, najveći zijev dostizao je 600 mm a širina ispusta je varirala od 14 do 20 mm. Tek u novije vrijeme, a nakon primjene valjkastih ležaja u glavi pokretne čeljusti, grade se i velike drobilice s jednom rasponom pločom, sa ždrijelom dimenzija $900 \times 600 \dots 2000 \times 1400$ mm. Upotrebljavaju se također za srednje i fino drobljenje. Prihvatni kut može narasti do 25° . Mašine za fino drobljenje imaju čeljusti izbočene, tako da su u donjem dijelu paralelne; time se povećava ravnomjernost najvećih čestica produkta.

Osim opisanih postoji i cio niz drugih, konstruktivno različitih čeljusnih drobilica (sl. 5). Drobilica *Telsmith* mjesto raspone ploče ima vodoravnu ekscentričnu glavnu polugu, a drobilica tipa *Sturtevant* ima ekscentar pogonskog vratila elipsasta oblika i na nj se oslanja vratilo koje prenosi impuls na polugu spojenu s pokretnom čeljusti; uslijed takve konstrukcije, drobilica *Sturtevant* drobi u toku jednog okretaja dvaput. Drobilica *Kue-Ken* u principu je slična tipu Blake, ali se od nje razlikuje po obliku ždrijela i položaju rasponih ploča, a proizvod joj ponekad ima ravnomjerniju zrnatost. Specijalnu konstrukciju ima drobilica *Eimco-Fahnenwald*. U nje su obje čeljusti pokretne i nisu okomite već kosonagnute, a elastično su vezane jakim oprugama koje omogućuju otvaranje ispusta u slučaju da u prostor za drobljenje upadne nedrobljiv predmet.

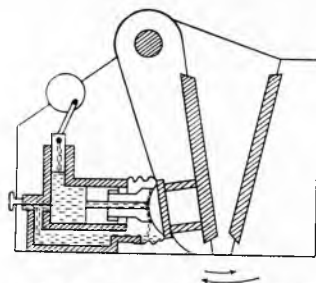
I pored svih nastojanja da se zamijeni drugim, prvobitni Blakeov princip koljenastog mehanizma pokretanja ostao je nenadmašen, i to zato što se njime postiže maksimum pritiska među čeljustima pri minimumu opterećenja rukavaca. Ipak, i on ima svojih nedostataka od kojih su glavni: diskontinuirani rad, ograničenost brzine rada i relativno velika osjetljivost na lom. Čeljusne drobilice tipa Blake rade, u stvari, diskontinuirano: na koristan rad drobljenja otpada samo pola njihova radnog vremena jer je vrijeme drobljenja ograničeno samo na polovinu trajanja okretaja pogonskog vratila. Time što je pri radu tih drobilica vrijeme otvaranja jednako vremenu zatvaranja čeljusti, brzina je zatvaranja čeljusti, tj. učestalost radnih pokreta, određena i ograničena brzinom otvaranja čeljusti, koja brzina predstavlja neizmjenljivu konstruktivnu veličinu jer mora biti prilagođena brzini padanja materijala u prostoru među čeljustima. Uslijed krutosti koljenastog mehanizma i velikih sila koje u njemu nastaju, neki se dio drobilice neminovno mora slomiti ako među čeljusti upadne komad materijala koji se ne može zdrobiti ni deformirati.



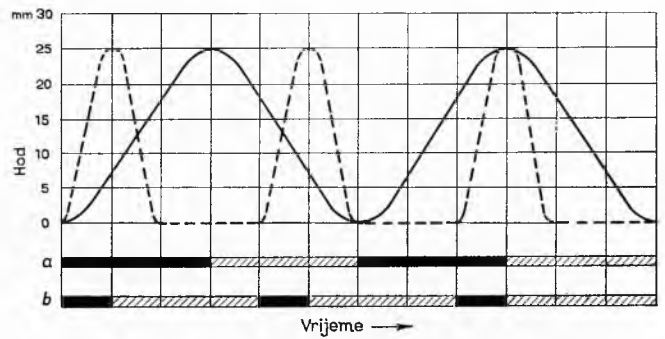
Sl. 5. Čeljusne drobilice različitih konstrukcija

Budući da je raspone ploče najlakše zamijeniti, one su dimenzionirane tako da se slome prije nekog drugog dijela drobilice, a ponekad se jedna od rasponih ploča izvodi od dva dijela spojena svornjacima koji predstavljaju najslabiji dio konstrukcije. Kad se drobilica preoptereti, ti se svornjaci slome i mašina se može razmjerno brzo opet staviti u pogon nakon popravka ili zamjene raspone ploče. Ipak, vrijeme koje se time izgubi ide na uštrb produktivnosti.

Nedostatak da je brzina rada drobilice ograničena jednakošću brzine otvaranja i zatvaranja čeljusti izbjegnut je konstrukcijom drobilice na principu tzv. »hidrokinetičkog sitnjenja«, kako je to nazvao pronalazač, Kanadain Gaudie (1953). Čeljusna drobilica tipa Gaudie prikazana je na slici 6. Zahvaljujući hidrauličnom mehanizmu, čeljusti se pri ulasku nedrobljivog predmeta elastično razmiču dok predmet ne ispadne iz drobilice, a osim toga se hidrauličnim pogonom postiže nesimetričan radni ciklus (sl. 7). Kao što se na dijagramu vidi, korisno vrijeme zatvaranja čeljusti znatno je skraćeno, a (nekorisno) vrijeme otvaranja ostaje neizmijenjeno. Dok normalna čeljusna drobilica obavi dva radna ciklusa, drobilica Gaudie obavi tri, što znači da je, teorijski, učinak drobilice Gaudie za 50% veći.

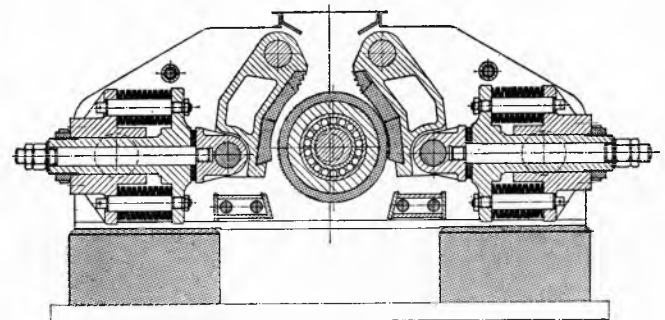


Sl. 6. Čeljusna drobilica tipa Gaudie



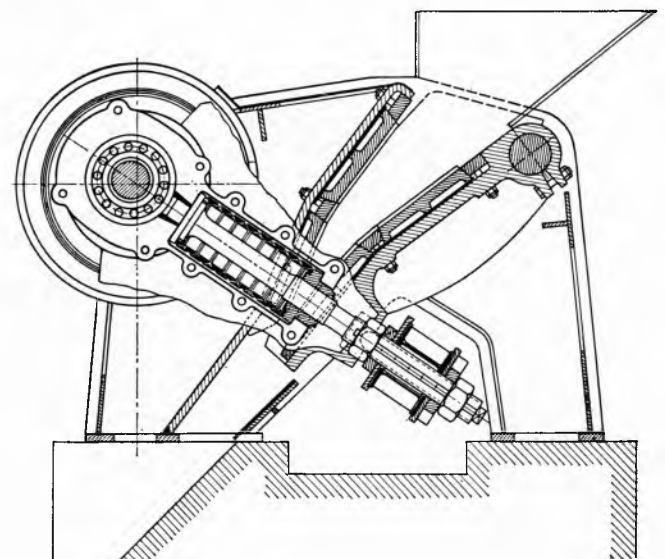
Sl. 7. Radni ciklus drobilice tipa Blake i Gaudie. a Drobilica Blake (puna crta), b drobilica Gaudie (crtkano); crno zatvaranje čeljusti, šrafirano otvaranje čeljusti

Nedostatak nekontinuiranog rada nije uklonjen ni drobilicom Gaudie. Jedan pokušaj, učinjen još prije nekoliko decenija, predstavlja spomenuta drobilica Eimco-Fahrenwald (v. sl. 5). Neposredno pred prošli rat pojavila se u USA drobilica Bonnot, na donekle sličnom principu, ali s horizontalnim radnim vratilom, i to u obliku radnog valjka. Gotovo jednaku konstrukciju ima



Sl. 8. Drobilica Rotex

u najnovije vrijeme reklamirana drobilica Rotex (sl. 8). Ona se sastoji od ekscentričnog valjka koji se okreće između dviju čeljusti. Materijal se dovodi odozgo i drobi se između čeljusti i valjka koji osim rotacionog ima i njihajno kretanje. Ove se drobilice upotrebljavaju uglavnom za sekundarno drobljenje, ali se u novije vrijeme izvode i s većim dimenzijama, za primarno drobljenje.



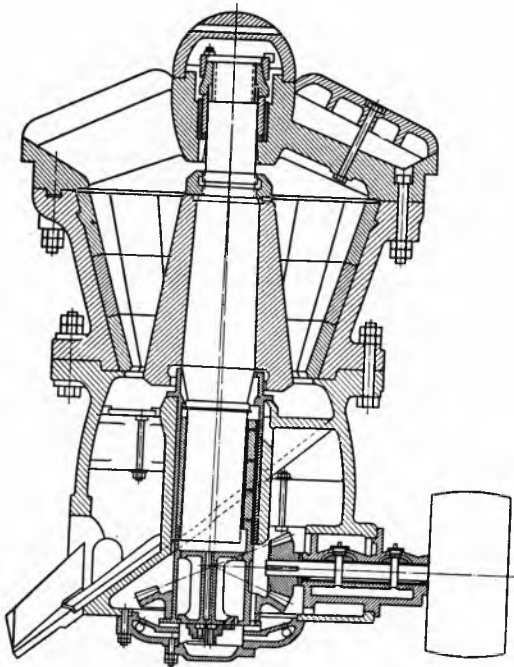
Sl. 9. Udarne čeljusna drobilica

Na osnovu iskustava s kružnim drobilicama, u novije se vrijeme mijenja i oblik prostora za drobljenje. Tako su kod tzv. udarne čeljusne drobilice (sl. 9) obje čeljusti jako nagnute i nisu okomite,

a prostor za drobljenje znatno je produžen. Nagib donje — pokretne — čeljusti raste u pravcu ispusta, što omogućuje ubrzanje drobljenja. Pokretna čeljust pokreće se mnogo brže nego u normalnih čeljustnih drobilica, ona oscilira toliko brzo da materijal prilikom njenog pokreta natrag (naniže) ne dopiye da padne na donju čeljust, pa ga ona pri slijedećem pokretu naprijed baca na nepokretnu (gornju) čeljust, gdje se razbija udarcem (a ne gnječenjem).

Prednosti su čeljustnih drobilica jednostavna niska konstrukcija, razmjerno malo habanje obloga čeljusti, laka izmjenljivost ishabanih dijelova, lako posluživanje koje ne zahtijeva kvalificiranu radnu snagu. Nedostaci su, osim već spomenutih, potreba jakog temeljenja i opasnost od začepeljivanja ispusta, zbog čega je potrebno što ravnomjernije dodavanje materijala za drobljenje.

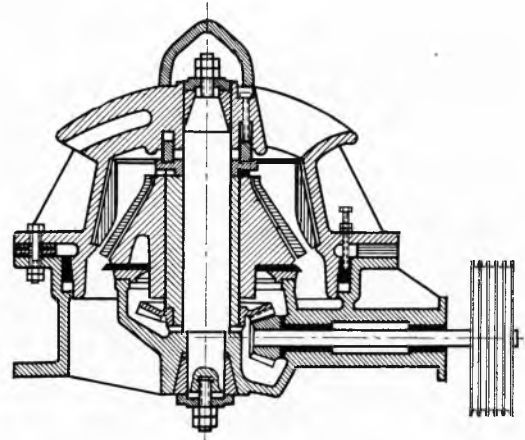
Kružne ili konusne drobilice se tako nazivaju zbog oblika što ga imaju površine za drobljenje. U stvari su to čeljustne drobilice kojima su obje površine za drobljenje (čeljusti) simetrično



Sl. 10. Kružna drobilica McCully

ovijene oko vertikalne osi njihajne čeljusti. Prvi put su primijenjene 1880, i to u USA. U poređenju sa čeljustnim drobilicama njihove su prednosti: veliko povećanje ždrijela i zijeva i s tim vezano povećanje kapaciteta, neprekidan rad, znatno smanjenje masa na jedinicu učinka uslijed simetrične konstrukcije mašine, odgovarajuće smanjenje utroška energije.

Kružna se drobilica u suštini sastoji od dva uspravna odsječena konusa koji su ugrađeni jedan u drugi tako da su im vrhovi okrenuti u suprotnim pravcima. Vanjski je konus nepokretan, a unutrašnji je pričvršćen za ekscentrično pogonsko vratilo pa se s njim okreće i pri tom naizmjenično približava pojedinim tačkama plašta nepokretnog konusa i od njih se udaljuje. Istovremeno se okreće oko svoje osi, i to pri praznom hodu u istom smislu kao vratilo, a u suprotnom smislu pri drobljenju materijala. Ovo okretanje u suprotnom smislu po materijalu zavisi od broja okretaja tuljca vodilice pri donjem rubu konusa i od donjeg promjera pokretnog konusa. U nekih drobilica nema rotacije unutrašnjeg konusa oko vlastite osi. Oblik vanjskog konusa u nekih je tipova izmijenjen: može biti i valjak (tip Telsmith) ili je pak njegov vrh okrenut u isti pravac kao i vrh unutrašnjeg konusa (tip Symons). I kružne drobilice uglavnom djeluju tako da drobe materijal gnječenjem kad se razmak obaju konusa smanjuje. Rotacija pokretnog konusa oko vlastite osi djeluje doduše tarno, ali to nema većeg udjela u cjelokupnom radu drobljenja. Razlikuju se dva tipa drobilica upotrebljivanih za primarno drobljenje: tip McCully, prvi put upotrijebljen 1902, i tip Telsmith,



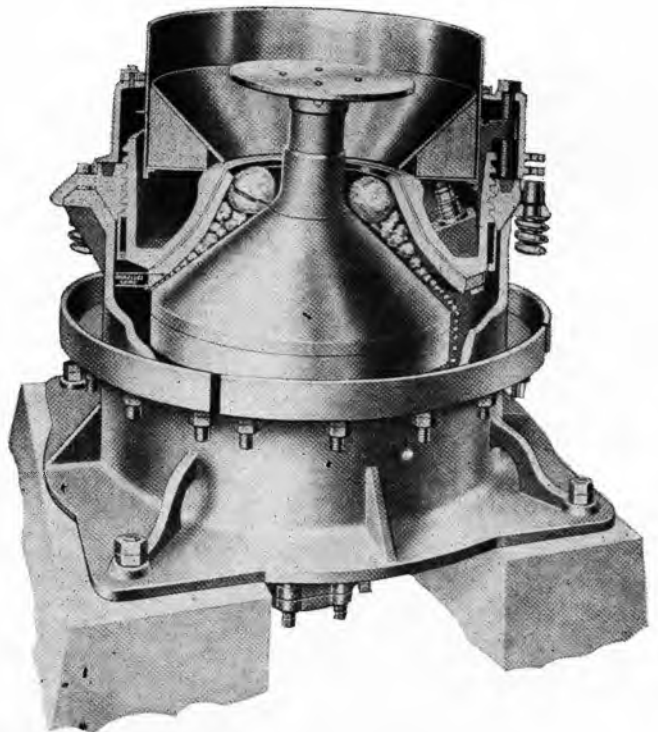
Sl. 11. Kružna drobilica tipa Telsmith

u upotrebi od 1918. Za sekundarno drobljenje danas se gotovo univerzalno upotrebljava konusna drobilica Symons; ona je uvedena u praksu tek prije tridesetak godina, ali se raširila velikom brzinom po cijelom svijetu.

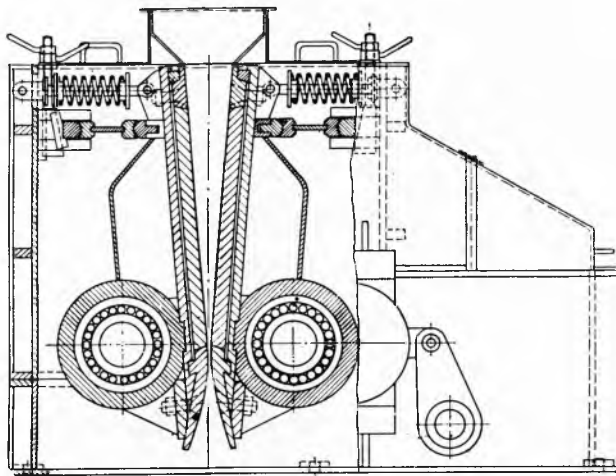
McCullyjeva drobilica (sl. 10) ima pokretni konus pričvršćen na okomitu osovinu, pri vrhu prosto obješenu u ležajima a dolje usadenu u ekscentrični ležaj što ga okreće glavno pogonsko vratilo preko konusnog zupčanika. Najveće su promjene udaljenosti između oba konusa na njihovom donjem kraju; mašina, dakle, radi po principu Blakeove čeljustne drobilice, što utiče i na zrnatost produkta. Kad je ždrijelo najviše otvoreno, kroza nj padaju i zrna koja su u jednom ili u dva pravca veća od zijeva, ali zbog ukrivljenosti ždrijela taj nedostatak nije toliko značajan kao kod čeljustne drobilice. Drobilica McCully upotrebljava se za grubo i srednje drobljenje.

Drobljica Telsmith (sl. 11) visina je smanjena na taj način što je glavna osovina na oba kraja pokretno učvršćena. Oko nje se okreće tuljac vodilica, a duž cijele visine pričvršćen je ekscentar na koji je navučen pokretni konus. Amplitude pri ekscentričnom kretanju konusa jednake su, dakle, kod ždrijela i kod ispusta.

Drobljica Symons (sl. 12) konstruktivno se od dosad opisanih kružnih drobilica razlikuje po izvedbi obaju konusa, po većem



Sl. 12. Kružna (konusna) drobilica Symons

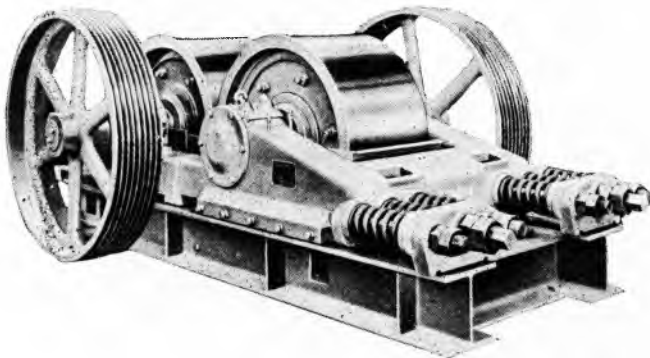


Sl. 13. Dupla njihajna drobilica

ekscentricitetu i većem broju okretaja. Donja strana pokretnog konusa konstruirana je kao odsječak lopte, a isto je tako sferično izvedena i površina po kojoj konus klizi pri kotrljanju. Donji kraj osovine uglavljen je u ekscentričnom ležaju kao kod drobilice McCully. Plašt konusa ima veoma blag pad (kut pri osnovici iznosi 40°), a isto je tako izveden i plašt nepokretnog dijela, tako da su u donjem dijelu površine za drobljenje paralelne. Nepokretni je konus elastično pričvršćen za vanjsko kućište jakim oprugama (njih 20...80), čime se sprečavaju oštećenja u slučaju upadanja nezdobljivih predmeta u prostor za drobljenje.

Iako je danas Symonsova drobilica glavni uređaj na području sekundarnog drobljenja, ipak su vrlo intenzivna nastojanja da se konstruiraju i druge mašine koje bi u prvom redu bile jeftinije. Jedna je od njih tzv. dupla njihajna drobilica ili *dupli granulátor* (sl. 13). Sastoji se od dviju gotovo okomitih čeljusti među koje se ozgo ubacuje materijal za drobljenje. Gore se čeljusti oslanjaju na opruge i vodilice, a na donjem kraju se nalaze mjenjač i ekscentar preko kojih se čeljusti stavljaju u sinhroni pogon: pri tom se u gornjem dijelu pokreću otprilike pravolinijski u pravcu prolaska materijala a u donjem kružno (brzinom okretanja 600 min^{-1}). Tako imamo i normalno kretanje poput klatna i njihanje gore-dolje. Mjenjač se može podesiti tako da kretanja obiju čeljusti nisu u fazi, što može biti potrebno kod materijala koji iziskuje i obradu trenjem.

Droblilice s valjcima upotrebljavaju se, u zavisnosti od konstrukcije i veličine, za grubo, srednje i fino drobljenje. Razlikuju se droblilice s jednim valjkom, sa dva, tri i četiri valjka,

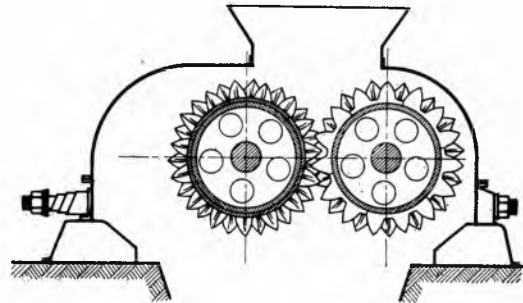


Sl. 14. Valjkasta drobilica s glatkim valjcima

a po obliku površine postoje glatki (sl. 14), nazubljeni (sl. 15) i rebrasti valjci.

Droblilice s valjcima sastoje se u načelu od dva valjka koji su pričvršćeni za paralelne vodoravne osovine i okreću se u suprotnom smislu. Ozgo dodavani materijal prolazi među valjcima

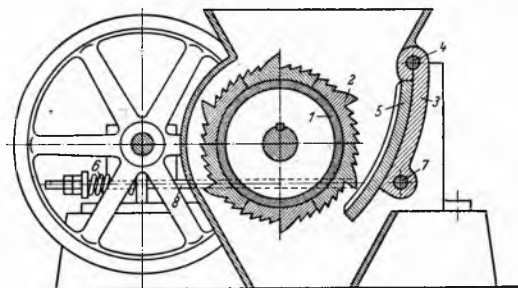
naniže i pri tom se drobi, a ako je materijal plastičan, samo se izvalja (npr. glinasti materijal). Obično se osovina jednog valjka okreće u fiksnim ležajima a drugog u kliznim koji se opiru o jake opruge. Manje jedinice imaju pogon samo preko fiksnog valjka a veće imaju individualni motor za svaki valjak. Obodne brzine valjaka jednake su ili se samo malo razlikuju. Pri nejednakim je brzinama materijal više izložen silama trenja i posmika. Donja granica drobljenja iznosi $1 \dots 2 \text{ mm}$, a stepen drobljenja svega ~ 4 (ukoliko je to, u nekim posebnim slučajevima, potrebno, može se postići i maksimalan stepen drobljenja od ~ 8 , i to povećanjem obodne brzine na više od 12 m/s , dok se normalna obodna brzina kreće između 2 i $8 \dots 12 \text{ m/s}$). I pored ovog relativno nepo-



Sl. 15. Valjkasta drobilica s nazubljenim valjcima

voljnog učinka, droblilice s valjcima imaju široku primjenu u gotovo svim granama industrije jer su jednostavne, sigurne u pogonu i neosjetljive. Pri drobljenju tvrdog materijala upotrebljavaju se droblilice s valjcima kojih je promjer nekoliko puta veći od širine valjka; pri drobljenju srednjotvrdog materijala odnos je promjera i širine valjka obrnut. Općenito važi pravilo: promjer valjka neka bude što veći, stepen drobljenja ne prevelik (~ 4), broj okretaja za oba valjka jednak, iz ulaznog materijala treba prethodno odstraniti sitnež.

Droblilice s valjcima upotrebljavaju se i za drobljenje mekih stijena. Takve se stijene ne lome dovoljno djeluje li se na njih nekom silom na maloj udaljenosti; na njih treba djelovati kidanjem s relativno velike udaljenosti ili pak udarom, tako da postanu pseudo-krte. Za kidanje služe zupčaste droblilice s valjcima od kojih je na slici 16 prikazan tip s jednim valjkom. Materijal (oso-



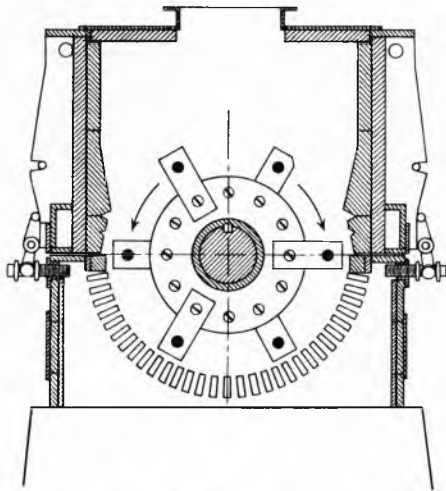
Sl. 16. Zupčasta drobilica s jednim valjkom. 1 Unutrašnji bubanj, 2 obložne zupčaste ploče, 3 njihalo, 4 osovina njihala, 5 odbojna ploča, 6 zatezne opruge, 7 svornjak zatezne šipke njihala

bito nemetali, kao što su krečnjak, škriljac, kreda, tupina, gips, fosforit i ugljen) kida se i drobi u prostoru između valjka i elastično ugrađene ploče (čeljusti). Takva drobilica daje malo praha i sitneži, a ima dobar učinak.

Čekičare su droblilice koje također dolaze u obzir za drobljenje mekog do srednjotvrdog pa i žilavog materijala. Sastoje se od jednog (ili i dva) rotora s čekićima različitog oblika koji se velikom brzinom ($300 \dots 400 \text{ min}^{-1}$ kod velikih jedinica i do 1500 min^{-1} kod malih) okreće oko horizontalne osi u kućištu od čeličnih ploča. Čekići su za rotor mahom pričvršćeni člankovito, a za vrijeme rada ih centrifugalna sila postavi radijalno. Pri dnu je

obično ugrađeno sito koje se može izmijeniti, pa tako postoji mogućnost granulometrijskog podešavanja produkta (sl. 17).

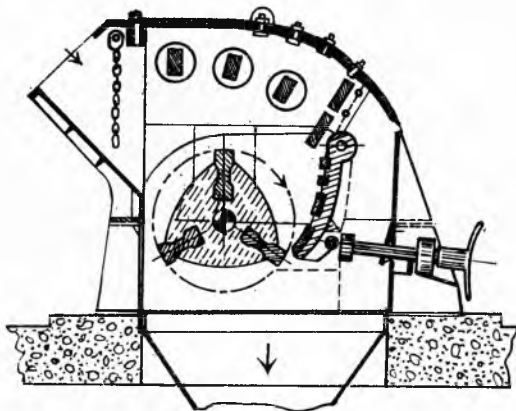
Čekičare djeluju na bazi udaraca koje materijal prima uzastopno u veoma kratkim intervalima (~150 udaraca na sekundu



Sl. 17. Drobilica čekičara

pri 1500 okretaja na minutu). Uslijed velike brzine, pritisci su u unutrašnjosti zrna veći nego kod sporohodnih mašina (npr. kružnih drobilica) pa će se zato u kružnim drobilicama mek materijal eventualno samo deformirati dok će u čekičarama od udarca postati krt. Zato su čekičare pogodnije za drobljenje mekog materijala, npr. gline. U praksi se uzima da su čekičare primjenjive za materijal koji sadrži do ~10% SiO_2 .

U posljednje vrijeme, praktično tek poslije drugog svjetskog rata, sve više ulaze u upotrebu udarne (odbojne) drobilice kojih



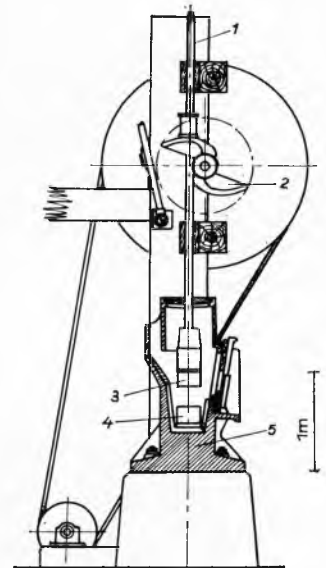
Sl. 18. Udarne drobilice

ima mnogo tipova; jedan je prikazan na sl. 18. Za razliku od dosad opisanih drobilica, koje djeluju uglavnom pritiskom, smicanjem ili udarcem o neki oslonac, udarne drobilice sitne materijal na bazi odbacivanja, tj. udarca bez oslonca, odnosno udarca u slobodnom prostoru. Materijal je u dodiru s drobećim elementom samo na jednoj strani a nije uklješten. Pri tom udara velikom brzinom ili drobeći element o zrno materijala ili obratno. U oba se slučaja jedan dio kinetičke energije pretvara u rad sitnjenja. Konstruktivno su ove drobilice slične čekičarama ali je prostor za drobljenje znatno veći. Sastoje se od jednog ili dva rotora u koje su, obično fiksno, usađeni odbojници u vidu batića ili ploča. Materijal se odbojnicima odbacuje na čelične odbojne ploče ili palice. Kako udarne drobilice imaju velik stepen sitnjenja (i do 20), jedna takva drobilica ponekad može zamijeniti i dva stepena drobljenja, npr. i čeljusnu i Symonovu drobilicu. I specifični

je učinak (kWh/t) bolji nego u drugih drobilica, pa se može očekivati da će udarne drobilice osvajati sve šire polje primjene.

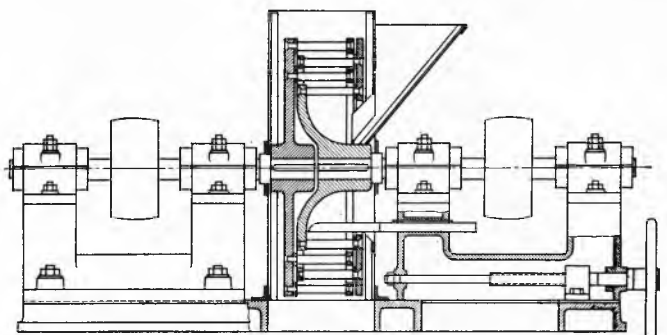
Za ove se uređaje često vezuje i pojam »selektivnog sitnjenja« u tom smislu da one navodno sitne materijal tako da se on razlaže u klase koje odgovaraju veličini zrna pojedinih komponenta. To bi bila velika prednost jer bi se tako, na primjer, mogli dobiti korisni minerali odvojeni od jalovih primjesa. U načelu, međutim, svaka naprava za sitnjenje djeluje »selektivno« jer pojedine komponente materijala reagiraju različito na pritisak, gnječenje, udarac, smicanje, tj. na djelotvorni princip naprave za sitnjenje. Prema tome, ne može se tvrditi da neka naprava djeluje selektivno a druge ne, već samo toliko da za svaki materijal postoji najbolji tip i vrsta drobilice. Tako i udarne drobilice bolje djeluju na neke određene materijale od drugih mašina; na primjer u sitnjenju azbesta one kao da nadmašuju dosad upotrebljavane njihajne ili opružne mlinove.

Stupe (sl. 19) najstariji su uređaj za drobljenje. Detaljno ih je opisao već Agricola u XVI st. Upotrebljavale su se ispočetka za suho drobljenje, a od XVI st. i za mokro. Drobe materijal uglavnom udarcima, ali se od udarnih drobilica razlikuju po tome što razbijaju materijal koji leži na tvrdj nepomičnoj podlozi. Danas je njihova upotreba ograničena, uglavnom, na drobljenje južnoafričkih ruda zlata, bakrenih ruda Gornjeg jezera u Kanadi i južnoameričkih ruda kositra. Sastavni su dijelovi pogonska greda 1 s tučkom 3, korito 5 s nakovnjem 4 i prst podizač 2. Podizači imaju oblik evolvente; prilikom pokretanja grede oni dižu tučak na određenu visinu pa ovaj prostim padom drobi materijal. Kako su podizači s obzirom na os grede namješteni ekscentrično, tučak se pomalo okreće. Tako je osigurano ravnomjerno habanje. Obično ima tri ili pet stupa u jednoj bateriji. Rad drobljenja zavisi od težine tučka, visine dizanja tučka i visine materijala na nakovnju. Kao sve drobilice, stupe zahtijevaju da im se ravnomjerno dodaje materijal, dok razlike u veličini zrna ne utiču u većoj mjeri na njihov rad. Stepenn drobljenja veoma je velik, dosiže 150, ali im je kapacitet malen. Proizvod je prilično ravnomjeran u pogledu veličine čestica.



Sl. 19. Stupa. 1 Pogonska greda, 2 prst podizač, 3 tučak, 4 nakovnje, 5 korito

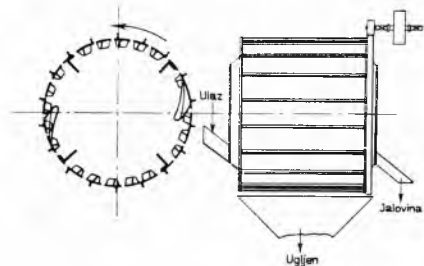
Dezintegratori (sl. 20) upotrebljavaju se za suho sitnjenje srednjotvrdog i mekog materijala (ugljena, krede, soli, fosfata, škrljica, treseta, gline, asfalta i sl.). Sastoje se od dviju ploča s horizontalnim klinovima za lomljenje raspoređenim u četiri do šest, eventualno i osam koncentričnih prstenova. Sistem prstenova jedne ploče zalazi u sistem druge. Kod pravih dezintegratora obje se ploče vrte u suprotnom pravcu velikom brzinom (20...40 m/s), a kod tzv. dismembratora jedna je ploča nepokretna.



Sl. 20. Dezintegrator

Materijal ulazi aksijalno i uslijed djelovanja centrifugalne sile prolazi radijalno između ploča, pri čemu ga neprekidno udaraju klinovi i mijenjaju mu pravac kretanja, dok ne izleti iz prostora među pločama. Usitnjeni materijal ispada kroz ispust pri dnu. Ova drobilica nema osiguranja protiv pretvrđih komada pa pred ulazom u nju treba postaviti magnetski separator.

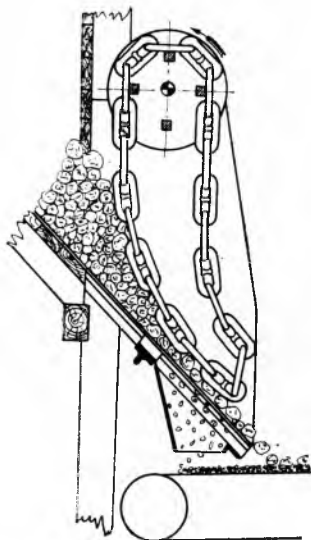
Drobnice u kojima se materijal drobi uslijed svoje vlastite težine. Takva mašina je *Bradfordova drobilica* (sl. 21), u stvari kombinacija drobnice i sita. Upotrebljava se za odvajanje



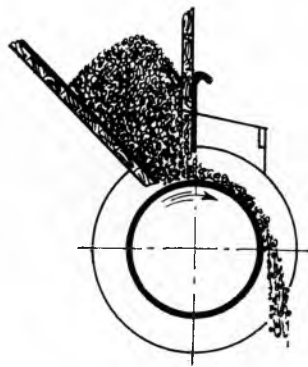
Sl. 21. Bradfordova drobilica

ugljena od jalovine, i to krutih vrsta ugljena. Sastoji se od limenog bubnja s uzdužnim prorezima (ili perforacijama različitog oblika), koji se polako vrti. Prilikom pada u unutrašnjosti bubnja ugljen se isitni pa izlazi kroz otvore kao prosvjev, dok tvrda jalovina predstavlja odsjev i izlazi na kraju bubnja.

Hranilice. Od pomoćnih uređaja kod drobnica osobito su važne naprave za dodavanje materijala, jer su sve mašine za sitnjenje osjetljive u pogledu ravnomjernog hranjenja. Za krupnozrnati ili rovni materijal, naročito za rude, dolazi u obzir *hranilica s lancem* (sl. 22). Sistem lanaca obješenih za vodo-

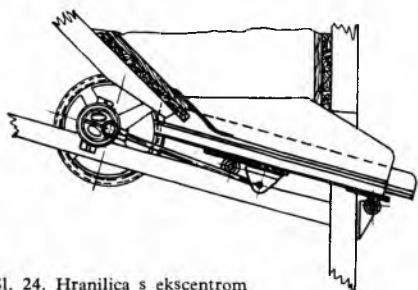


Sl. 22. Hranilica s lancem



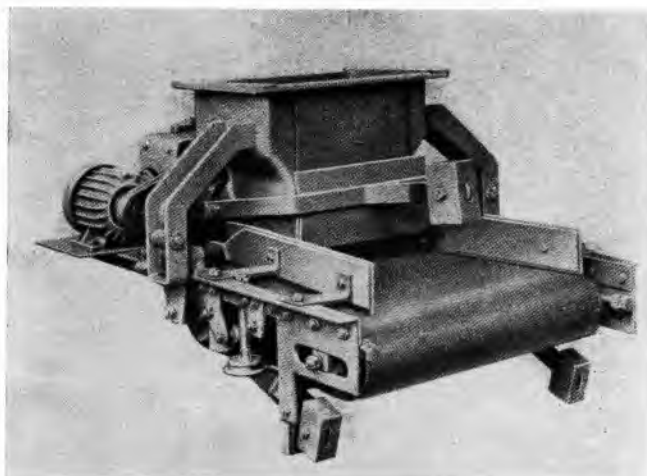
Sl. 23. Hranilica s valjkom

ravni valjak daje potrebni otpor te osigurava ravnomjerni ulazak materijala. Dok lanci miruju, oni svojom težinom zatvaraju spremište materijala, bunker. Kad se uslijed rotacije valjka počinju okretati, povlače materijal koji polako klizi iz bunkera. Brzina hranjenja podešava se brojem okretaja valjka. Za sitnozrnati materijal primjenjuje se *hranilica s valjkom* (sl. 23). Mnogo se upotrebljavaju i *hranilice s ekscentrom* (sl. 24), koje su naročito po-



Sl. 24. Hranilica s ekscentrom

godne za velike učinke i veoma grubozrnat materijal (300 mm i više). Za automatsko dodavanje određene količine služi, npr.,



Sl. 25. Dozirni uređaj Hardinge

dozirni uređaj Hardinge (sl. 25). Tu se količina ulaznog materijala može podešavati pokretnim protutegom.

LIT.: E. C. Blanc, H. Eckart, Technologie der Brecher, Mühlen und Siebvorrichtungen, Berlin 1933. — W. Miller, Crushers for stone and ore, Princeton, N. J. 1935. — Л. В. Левенсон, Г. И. Прейзерзон, Дробление и грохочение полезных ископаемых, Москва 1940. — С. Mittag, Die Hartzzerkleinerung, Berlin-Göttingen-Heidelberg 1953. — В. А. Олевский, Конструкция, расчеты и эксплуатация дробилок, Москва 1958. — В. И. Фадеев, Современное оборудование для дробления и измельчения руд, Ленинград 1959. — С. Е. Андреев, В. В. Зверевич, В. А. Перов, Дробление, измельчение и грохочение полезных ископаемых, Москва 1966.

K. Slokan

DRVENE (INŽENJERSKE) KONSTRUKCIJE, građevinski objekti izradeni od drva koji su namijenjeni nošenju nekog opterećenja. Takve drvene konstrukcije sadrže: krovišta, stropovi, tornjevi, hale i tribine, stupovi, mostovi i dr.

Drvene inženjerske konstrukcije sastoje se od pojedinačnih štapova i oplata (dasaka) spojenih pogodnim sredstvima. Kao nosive konstrukcije, one moraju biti oblikovane i dimenzionirane tako da i kao cjeline i po svojim sastavnim dijelovima s određenom sigurnošću podnose opterećenja kojima mogu biti izložene.

Drvo kao konstrukcioni materijal. O općim svojstvima drva važnim u njegovoj primjeni kao konstrukcioni materijal (fizičkim i mehaničkim svojstvima, greškama i oštećenju drva, trajnosti itd.), kao i o vrstama građevnog drva, v. članak *Drvo*.

Pri određivanju čvrstoće i dopuštenih napona potrebno je razlikovati, zbog vlaknaste strukture drva: smjer djelovanja sile u odnosu na smjer vlakana (paralelno, koso, okomito), na položaj godova i ravninu u kojoj sile djeluju. Tako se razlikuje, npr., tlačno naprezanje paralelno s vlaknima, koso prema vlaknima i okomito na vlakna, pa lokalno i totalno tlačno naprezanje itd. U tabl. I navedene su čvrstoće najvažnijih vrsta drva na vlak i tlak, paralelno s vlaknima (||) i okomito na vlakna (⊥), te čvrstoće na savijanje i odrez.

U odnosu na dopuštene napone u drvenim konstrukcijama mogu postojati ova naprezanja: centrički tlak paralelni, tlak okomito na vlakna i koso prema njima, pritisak praga, pritisak stupca, okomito na vlakna i koso prema njima, pritisak ispod podložne pločice vijka, čeonni pritisak (lokalni i totalni), bočni (paralelni i okomiti) pritisak po obodu rupa, centrički vlak paralelni, vlak okomito na vlakna i koso prema njima, savijanje paralelno, savijanje s uzdužnom silom; posmik paralelno, okomito i koso, u ravnini vlakna i okomito na nju, posmik srca moždanika; centrična i ekscentrična torzija. U praksi se redovito razmatraju samo ona naprezanja za koja su dani dopušteni naponi u tabl. 2.

Osnovne dopuštene napone potrebno je često modificirati popravnim koeficijentima, koji se nalaze u literaturi i propisima, uzimajući u obzir okolnosti koje utječu na čvrstoću drva kao što su: stupanj vlažnosti drva, veličina komada, vrst drva i porijeklo, kvalitet građe, ponovna upotreba, način uskladištenja, primjena