

15. DIJAMANTNA ŽIČNA PILA

Dijamantne žična pila (slike 15.1. i 15.2.) se sastoji od pogonskog dijela s zamašnjakom i komandnog dijela, dok je rezni element dijamantna žica. Pogonska jedinica se nalazi u kućištu na poluosovini unutar okvirne konstrukcije smještene na četiri metalna kotača. Zakretanjem poluosovine zamašnjak (pogonski kotač trenja) može se dovesti u bilo koji položaj. Stroj se giba uzduž tračnica položenih u smjeru piljenja. Najčešći pogon posmaka je preko zupčanika i zupčaste letve između tračnica. Pogonski kotač je obložen gumom koja njega i dijamantnu žicu štiti od trošenja i ostvaruje potrebni koeficijent trenja. Normalnim radom gumena obloga se istroši nakon mjesec dana, nakon čega se zamijeni novom. S dva orijentacijska kotura ispred zamašnjaka povećava se obuhvativ kut žice i sprječava njeno ispadanje s pogonskog kotača. Komandni dio (centralina) je odvojen od pogonskog stroja zbog zaštite rukovatelja. Zato se pri vertikalnom piljenju komandni dio postavlja bočno desetak metara od stroja, a pri hori na višu etažu od one koja se pili. U slučaju prekida žice rad stroja se isključuje.

U početku su se koristile pile s hidrostatskim sustavom i hidrauličnim pogonom pogonskog kotača trenja, zatim se (zbog osjetljivosti hidraulike na nečistoće) uvodi direktni elektromotorni pogon kotača trenja, te potpuna elektronička regulacija, i konačno automatska regulacija napinjanja žice ovisno o naprezanjima u rezu (slika 15.3.). Pila se automatski prilagođava opterećenjima što znači da će kod velikih otpora piljenja (posmak stroja) biti sporiji, ali s većom silom i obrnuto, tako da će pogonski motor uvijek raditi na istom optimalnom režimu bez ikakvih preopterećenja. Uz to se prilagođava i regulacija obodne brzine dijamantne žice, tj. promjena broja okretaja pogonskog kotača u direktno je ovisna o opterećenjima i regulaciji posmaka stroja. Osim pila s električnim glavnim pogonskim motorom koriste se (tamo gdje nema osigurane električne energije) i pile s dizelskim pogonom (slika 15.4.)

Regulacija obodne brzine žice, tj. postupna promjena broja okretaja pogonskog kotača postiže se kod raznih modela na različite načine, a talođer regulacija posmaka stroja, odnosno napinjanja dijamantne žice. Međutim, princip rada kod svih pila je identičan. Dijamantna se žica obavlja oko površine koja se pili i zatvara u neprekinuti "beskonačni" tijek preko pogonskog kotača stroja (slika 15.5.). Žicu pokreće pogonski kotač (zamašnjak). Prijenos vučne sile s kotača na dijamantnu žicu postiže se trenjem. Za ispiliti rez dijamantnom žičnom pilom potrebno je znači omotati dijamantnu žicu oko opsega površine koju treba ispiliti za što je najčešće potrebno izbušiti dvije konvergentne bušotine koje su normalno međusobno pravokutne. Ovakve dvije bušotine koje se međusobno spajaju sačinjavaju zajedno s dvije slobodne stijenke bloka kružni tijek žice. Na slici 15.6. prikazani su načini piljenja vertikalnih i horizontalnih rezova pri klasičnom zatvaranju dijamantne žice u neprekinuti tijek metodom spajanja u omču ili petlju (tal. a cappio, engl. looping). Pod a.) i b.) prikazan je način piljenja vertikalnog reza ovisno o položaju pile. Pod a.) je prikazan način piljenja kad se pila nalazi na osnovnom radnom platou- pjaci, tj. na etaži na koju se obara blok, pa pili visinski rez, dok je pod b.) prikazan slučaj kad je pila smještena na etaži koju se pili, pa pili dubinski vertikalni rez. Pri radu na etaži koja se pili mora se koristiti pomoćni kotač - pomoćna kola (slika 15.7.), što izaziva dodatna opterećenja žice. Pokazalo se da se nešto bolji rezultati piljenja postižu kad se pila nalazi na etaži na koju se obara blok. Često ovaj položaj nije moguć zbog prostornih ograničenja, pa se radi toga, ili drugih organizacijskih ili eksploatacijskih razloga, koristi dubinski rez. Pri horizontalnom piljenju dijamantna žica može biti

jedino na radnom platou etaže, odnosno pila može biti samo u razini reza, tako da s plohom piljenja čini istu ravninu. Pri tom pili različiti oblik reza, kvadratični (c) do trokutni (d) pri piljenju V usjeka.

Na slici 15.8. prikazana je mogućnost piljenja dijamantnom žičnom pilom na način sličan kako se koristila klasična žična pila. Dijamantna žica se zatvara u neprekinuti tijek metodom obrnutog slijeda (obrnutog lanca). Kod te metode koriste se potisni stupovi (ili dodatni koturovi na hidrauličnoj bušilici - sondi), tako da se dijamantna žica potiskuje s površine pomoću potisnog kotura, koji se prisilno vodi (spušta) po stupu kroz bušotinu. Pri tom se može koristiti jedan potisni stup (a) kad se pili otvoreni rez, ili dva stupa kad se pili zatvoreni rez i to istovremenim potiskivanjem (b) ili naizmjeničnim potiskivanjem (c) kad se ostvaruje tzv. lepezasti rez. Smanjeni učinak piljenja uz povećana oštećenja dijamantne žice su razlog što ovaj način piljenja nalazi užu primjenu. Međutim u slučaju potrebe, pri piljenju zatvorenog reza, primijenjuje se i ovaj način piljenja.

Pogonski kotač pile se postavlja u vertikalni položaj pri piljenju vertikalnog reza ili u horizontalni položaj pri piljenju vertikalnog reza. U kamenolomima je rijetko potreban kosi rez, ali se i ta potreba ponekad javlja. Suvremene dijamantne žične pile imaju mogućnost postavljanja pogonskog kotača u bilo koji kosi položaj i piljenja takvog kosog reza (slika 15.9.).

Rezni element dijamantne žične pile je dijamantna žica¹ (slika 15.10.) zatvorena u neprekinuti - beskonačni tijek.

15.1. DIJAMANTNA ŽICA

Dijamantna žica je rezni i ujedno vlačni element postrojenja pa vrsta i kvaliteta žice, uz svojstva stijene, ima presudan utjecaj na efikasnost piljenja. Svojstva dijamantne žice određuje u prvom redu, njena konstrukcija i to: vrsta i kvaliteta užeta, vrsta i oblik perli, zatim broj perli odnosno njihov korak, vrsta i broj razdjelnih opruga, osigurača (stopera), zaštitnih prstenova i spojnica (slika 15.11.).

Čelično uže je jezgra dijamantne žice, na njega su nanizani ostali dijelovi žice pa je ovo jedan od bitnih dijelova alata. Svaki prekid užeta znači direktni gubitak od 3 do 5 perli. Prilikom kidanja užeta dolazi do udara o kamen, pa se pri tom oštećuje (makar se to ne vidi golim okom) cijeli niz perli, jer dijamantne perle ne podnose dinamičke udare. Uže je u pogonu naprezano na vlak savijanje, uvijanje i gnječenje pa mora imati visoku čvrstoću na vlak, dobru savitljivost, otpornost na koroziju, a i relativno malu masu. Užeta su dvostruko pletena pramena promjera 5 mm, što odgovara unutarnjem promjeru perli. Dugo su se u primjeni zadržala nehrđajuća inox užeta spletena od 49 ili 133 žice. Uže s 49 žica pokazalo se dosta krutim. Uže s 133 žice pokazalo se veoma fleksibilnim, ali to je imalo i negativnih posljedica kod oštarih kutova piljenja posebice pri uporabi spojnica (oslabljenje užeta) koje se presaju na uže. Čelično uže s 61 žicom najčešće se koristi kao srednje rješenje. Promjer užeta je 5 mm. Ovo je uže zadovoljavajuće savitljivo i bolje podnosi spajanja tako da se manje oštećuje prilikom savijanja na krutom dijelu uz spojnicu. Održavanju užeta treba posvetiti dužnu pažnju. Oprati ga nakon rada vodom, pa zatim naftom

¹ Pod pojmom dijamantne žice podrazumijeva se kompletno oformljeni rezni alat koji se sastoji od čeličnog užeta s nanizanim dijamantnim perlama, opružnim razdjeljivačima spojnicama, zaštitnim i blokirnim prstenovima. Sam izraz "dijamantna žica" nije potpuno korektan jer je čelično uže kao dio te dijamantne žice sastavljeno od žica. Takav izraz je, međutim, prihvaćen i usvojen kako u hrvatskom tako i u drugim jezicima (filo diamantato - tal., diamond wire - engl.) pa će se kao takav i nadalje rabiti.

umakanjem u posudu. Čim se uoče veća oštećenja ili dođe do češćeg pucanja užeta najbolje ga je zamijeniti novim užetom. Prilikom zamjene užeta treba zamijeniti i razdjelne opruge, spojnice i zaštitne prstenove.

Dijamantna perla predstavlja osnovni rezni dio žice pa o njihovoj konstrukciji ovisi učinak i potrošnja alata. Perlu karakterizira sam oblik (konični ili cilindrični) i vrsta, tj. način na koji su dijamanti nanесeni na metalni nosač elektrolitički ili sintetiziranjem. Osnovni parametri dijamantnog sloja perle su dijamantna zrnca (njihova koncentracija, granulacija i marka), te vezivo kojim su ta zrnca povezana. Izbor ovih parametara uz brzinu dijamantne žice ovisi o vrsti stijene za piljenje i ostalim uvjetima rada. Za vapnence primjenjuju se uglavnom sintetizirane dijamantne perle cilindričnog oblika ukupne dužine 8.5 mm s vanjskim promjerom 10 mm, unutarnjeg promjera 5 mm. Marka dijamantata je tipa SDA (sintetički) granulacije 40/50 mesha (USA standard ASTM) s koncentracijom 35 %.

Uz perle i uža za formiranje dijamantne žice koriste se još: čelični zaštitni prstenovi vanjskog promjera 8 i unutarnjeg 5 mm, širine 3 mm; blokirni osigurači (naglavci) 9×6 mm, razdjelne opruge $\Phi 8$ mm dužine u nenapregnutom stanju 12 i 25 mm, te muško-ženske spojnice.

Dugogodišnjim radom dijamantnom žicom u našim kamenolomima utvrđen je najprihvatljiviji način formiranja žice s postavljanjem blokirnog osigurača poslije 5 dijamantnih perli s 30 perli po m žice.

Dijamantna žica je najčešće formirana tako da se ispod i iza blokirnog osigurača postavlja razdjelna opruga vanjskog promjera 8 mm, dužine 12 mm, a ispred i iza perle zaštitni prsten $\Phi 8 \times 3$ mm. Između dvije dijamantne perle postavlja se razdjelna opruga $\Phi 8$ mm, dužine 25 mm (slika 15.12.).

Napredovanjem piljenja potrebno je pravovremeno skraćivati dijamantnu žicu. Zato se žica kombinira od sekcija standardne dužine 5, 10, 15, 20 metara i prilikom spajanja sekcije se kombiniraju ovisno o dimenzijama i obliku reza. Ukupna dužina dijamantne žice na početku piljenja iznosi:

$$L = l_r + l_o + c (l_r + l_o), \quad \text{gdje su:}$$

l_r ... dužina dijamantne žice u rezu, sastoji se od dvije dužine (širine) plus visina reza,
 l_o ... dužina žice izvan reza, dvostruki razmak između pile i čela piljenja (cca 3m)
plus luk kontakta žice na pogonskom kotaču,
 $c = 0.02$ do 0.03 ... koeficijent olabavljenja kontaktne žice.

Kad se po navedenom obrascu odredi dužina žice ovisno o površini piljenja od standardnih sekcija se skombinira zaokružena potrebna dužina računajući da se žica krati i spaja pomoću spojnice koje se stavljaju na oba kraja žice, tako da je spoj u paru, ako je na jednom kraju muški navoj (spojnica) na drugom kraju mora biti ženska. Pokazalo se da su spojnice najslabija i najosjetljivija mjesta na žici, tj. najviše prekida žice je na spojnici pa tom dijelu pri formiranju žice treba posvetiti naročitu pozornost. Dobro je spojnicu postaviti odmah iza blokirnog osigurača s tim da ih razdvaja samo jedna kratka razdjelna opruga. U slučaju prekida uz spojnicu ili izvlačenja užeta iz spojnice osuti će se manji broj perli s čime je ublažena opasnost od povrede radnika jer dijelovi dijamantne žice (opruge, prsteni i poglavito perle) mogu u svom letu pogoditi radnike i na većoj udaljenosti. Oni lete poput metka, brzinom ovisno o brzini dijamantne žice (do 45 m/s) i o uvjetima pri kojim je žica izletjela iz reza.

Nedostatak ovom spoju je nešto krući dio dijamantne žice u zoni spojnice. To se može ublažiti (kad se pili oštrobriđni rez) prethodnom pripremom reza za piljenje. Pri piljenju oštrobriđnog reza potrebno je otupiti rubove ručnim pokretanjem (piljenjem) žice uz povremena uključenja stroja tek toliko da se žica može ručno povlačiti, sve dotle dok se ona potpuno ne usiječe u stijenu i poprimi bar donekle zaobljen oblik.

Prije početaka slaganja elemenata na čelično uže vrh užeta se zalemi i obradi turpijom. Nakon toga slijedi slaganje elemenata po redu s tim da je najprije na jednom kraju upresana spojnica. Kako se pri nizanju ne mjere naponi striktno se treba držati da na 1 m dužine stane točno predviđeni broj perli i prema njima odgovarajući broj ostalih elemenata. Nakon učvršćivanja spojnice i nanizavanja svih elemenata predviđenih za 1 m užeta, ti elementi se zategnu tako da zauzmu dužinu od 1 m i tu se učvrsti (upresa) blokirni osigurač. To se napravi za svaki metar užeta do kraja sekcije, gdje se pričvrsti spojnica koja s prvom čini par. Unutar dužine od 1 m užeta na pravilnim razmacima poslije svakih 5 perli također se presanjem učvršćuje blokirni osigurač.

Za formiranje dijamantne žice na radilištu treba imati kliješta i hidrauličnu ručnu presu (slika 15.13.), koja može ostvariti pritisak od 700 kPa. Uz to kad se priprema žica za više pila treba imati montažni stol. Na slici 15.13. također je prikazan i montažni stol za formiranje dijamantne žice model MFD 826 proizvod Bendiam (u sastavu tvrtke Benetti macchine). Pogonski dio na stolu je hidraulična pumpa pogonjena elektromotorom snage 1.5 kW. U sastavu stola je, uz ručno i nožno (pedale) upravljanje, hidraulična presa i hidraulična kliješta (nož). Stol je postavljen u mehaničkoj radionici tako da se u radionici formira novu žicu i također regenerira upotrebljavanu žicu. Ostvareni učinak iznosi 2.5 do 3 m² piljenja po jednoj perli.

Načinu uporabe i održavanju dijamantne žice treba posvetiti naročitu pozornost jer o tome ovisi učinak piljenja. Treba paziti da se s dijamantnom žicom uvijek pili u istom pravcu kretanja. Taj pravac je poglavito važan pri uporabi sintetiziranih dijamantnih perli. Ukoliko se ne poštuje taj pravac dolazi do prijevremenog ispadanja dijamantnih zrna iz veziva jer se pri radu vezivo nešto slabije troši sa stražnje strane zrna (slika 15.14.). Ta izbočenost veziva sa stražnje strane zrna potpomaže držanje zrna u vezivu. Ukoliko se promjeni smjer piljenja izgubi se taj oslonac što uzrokuje ispadanje zrna, prije njegove potrošnje, što znači brzo trošenje dijamantnog sloja perli. Za određivanje pravca kretanja u početku može poslužiti položaj muško-ženska spojnica, a kasnije se taj pravac uočava golim okom.

I pri obnavljanju dijamantne žice treba paziti na smjer okretanja perli. Tu se nekad treba poslužiti povećalom da se bolje uoči otkrivenost zrna i sve perle postave u određeni pravac. Perle kojima je noseći cilindar izdužen izvan dijamantnog sloja omogućavaju lakše snalaženje pri određivanju pravca piljenja. Pri završetku rada i pri uskladištenju dijamantne žice treba spojnice podmazati ili pošpricati antikorozivnim sprejem.

Da bi se prekidi dijamantne žice sveli na minimum potrebno je mijenjati čelično uže nakon određenog broja radnih sati (50–70) prije nego dođe do učestalog kidanja. Računajući da dijamantna žica dužine 50 m sa sintetiziranim dijamantnim perlama može u mekšim vapnencima ispiliti površinu od oko 4000 m² treba poslije svakih 600 do 650 m² piljenja promijeniti čelično uže. Poslije piljenja svakog većeg reza ili pak poslije 8–10 sati efektivnog piljenja treba promijeniti spojnice. Potrebno je raditi s takvim opterećenjem pri kojem napinjanje žice (posmak stroja) neće izazvati kidanje užeta.

Maksimalna snaga za takvo opterećenje je tolika da je jakost struje najčešće 50 do 60 A. Znači pri uspostavljanju automatskog režima rada treba postaviti na ampermetar jakost struje na maksimalno 60 A bez obzira na veličinu reza i snagu motora. S povećanjem upotrebe užeta treba smanjivati zateznu silu, što znači izabrati opterećenje glavnog elektromotora 40 A i niže. Površina piljenja mora odgovarati opterećenju stroja.

Otpori od savijanja štetno djeluju na trajnost žice. Manji radijus savijanja izaziva veće otpore i brže trošenje žice, zato pri korištenju pomoćnih kola njihov promjer ne smije biti manji od 400 mm. Iz tih se razloga ne smiju piliti jako niske (oko 50 cm) i duge površine. Završetak reza predstavlja također opasan period obzirom na savijanje žice uz istovremeno povećana vlačna naprezanja. Dobro je pravilo, zamijeniti dijamantnu žicu starom žicom (slika 15.5.) kad ostane za ispiliti još oko 1 m² površine, uz smanjenje natezanja na minimum. Time se izbjegava brzo trošenje dobre dijamantne žice i potpunije iskorištenje već upotrebene žice, koja se inače ne bi mogla iskoristiti za druge svrhe. Ne smije se raditi sa žicom sastavljenom od različitih tipova žice ili sastavljenom žicom od novih i starih komada, jer to izaziva vibracije i udare s povećanom mogućnošću prekida žice. Vibracije mogu nastati uslijed nejednolikog trošenja gumene obloge pogonskog kotača, kao i od njegove neizbalansiranosti. Kod postavljanja gumene obloge krajevi se ne smiju dodirivati, već između njih mora postojati izvjestan raspor - dilatacijski razmak - zbog rastezanja obloge. Ukoliko se krajevi obloge dotiču, ili je raspor nedovoljan dolazi do pojave "gumenog brijega" kojeg žica potiskuje po obodu kotača. Ukoliko je taj brijeg velik, osim vibracija, može doći do izbacivanja žice iz utora pogonskog kotača.

Na kraju dnevne smjene ako se ne završi rez, treba rez dobro isprati da bi se ujutro mogao lako pokrenuti stroj i nastaviti piljenje bez oštećenja ili pucanja žice. Ukoliko se nakon završetka rada povećanim dotokom vode ne ispere rez može doći do "cementacije" žice. Blato nastalo od razorenih čestica stijene i vode, slegne se na dno reza prekrivši žicu. Tijekom noćne pauze dođe do skrućivanja blata oko žice, što u slijedećoj smjeni izaziva velike poteškoće pri pokretanju stroja.

Količina vode i mjesto dotoka vode utječu na dobro hlađenje dijamantne žice i udaljšavanje produkata razaranja iz reza. Ne smije se ni jednog trenutka raditi na suho, prvo treba uspostaviti dotok vode pa tek onda započeti piljenje i obrnuto, prije završiti piljenje pa tek kasnije nakon ispiranja reza isključiti dotok vode. Rad bez vode izaziva povišene temperature opasne za dijamantnu žicu jer je vezivo dijamantne perle osjetljivo na povišenu temperaturu, a i dijamantna zrnca, jer velike temperature dovode do grafitizacije dijamanta odnosno prelaska u njegovu alotropsku modifikaciju (grafit). Na početku piljenja treba uspostaviti dotok vode na ulazu u rez i pri vrhu reza (slika 15.16.). Važno je da voda prati napredovanje reza, da se ne dozvoli da rez napreduje brže nego se pomakne crijevo s vodom. Ako je dotok vode malo ispred tjemena reza hlađenje žice i iznošenje materijala je nedovoljno. To se vidi na žici kad izlazi iz reza. Ako je žica na izlazu jako čista i s njom izlazi puno čiste vode, znači da je dotok vode preblizu izlazu iz reza. Minimalni dotok vode (količina) u rezu treba iznositi oko 15 l/min.

Da bi se započelo piljenje treba provući žicu kroz bušotine kako bi se mogla zatvoriti u neprekinuti tijek. Prije uvlačenja žicu treba još jednom pregledati. Žica za vertikalni rez se uvlači tako (slika 15.17.) da se na kraju koji se spušta napravi manja omča ili se taj kraj omota pamučnjakom. Taj se kraj spušta kroz vertikalnu bušotinu, a s čeličnom šipkom koja na kraju ima kuku zahvati se ta omča kroz horizontalnu bušotinu. Radnik koji kroz vertikalnu bušotinu spušta žicu ogledalom osvjetljava

bušotinu i gleda je li drugi radnik šipkom zahvatio omču, te mu daje usmene upute. Omča će se lakše zahvatiti ukoliko se zakreće šipku. Kad se zahvati omča žica se izvuče kroz horizontalnu bušotinu. U međuvremenu se u pravcu piljenja postave, centriraju i učvrste tračnice i na njih dijamantna pila koju se spoji s komandnom jedinicom (ormarićem). Kod vertikalnog reza komandni ormar mora biti od stroja udaljen bar za 4 do 5 m, a kod horizontalnog ga je najbolje staviti na gornju etažu. Ukoliko to nije moguće mora se postaviti zaštitna ograda ispred ormara koja će zaštititi zaposleno osoblje. U zoni rada stroja ne smije biti drugih radnika osim rukovatelja stroja. Pri horizontalnom piljenju dijamantna žica se provlači na sličan način s tim što se to radi kroz dvije horizontalne bušotine. Ovdje se dijamantna žica ne može slobodno spuštati kroz bušotinu već ju se pričvrsti na jednu čeličnu šipku koja se pogura do spoja bušotina. Na kraju žice isto se napravi omča. S drugom čeličnom šipkom postupa se na način kao i kod vertikalnog reza.

Provlačenje dijamantne žice za horizontalni rez na ovaj način ponekad je teško, pa se žica može provlačiti koristeći sve tri bušotine (slika 15.17.b). Najprije se progura jedna obična ravna žica kroz prvu horizontalnu bušotinu do vertikalne bušotine. Zatim se kroz vertikalnu bušotinu spusti konopac na čijem je kraju vezano malo pamučnjaka. Ravna žica, koja na svojem kraju ima kuke, okreće se oko svoje uzdužne osi u horizontalnoj bušotini, sve dotle, dok se za kuke ne uhvati pamučnjak. Ravna žica se izvlači iz bušotine i za sobom povuče konopac. Isti postupak se ponovi na drugoj bušotini. Zatim se pripremljena dijamantna žica na jednom kraju veže za konopac br. 1, a na drugom za konopac br. 2, te se počinje istovremeno vući konopce kroz obje bušotine. Kad se s prvim konopcem dovuče žica izvan bušotine, na toj se strani prekine potezanje. Na drugom kraju se i dalje nateže, dok se na ulazu u vertikalnu bušotinu ne ostvari mala omča. Omča se stisne toliko da može lagano prolaziti kroz vertikalnu bušotinu i na takvoj se širini veže koncem. Zatim se jednakomjerno nateže kroz obje bušotine, dok omča ne stigne do dna i tada se naglim trzanjem s oba kraja prekine konac koji je omatao omču.

Provlačenje dijamantne žice kod spoja bušotina s horizontalnim rezom lančane pile ne predstavlja teškoću zbog širine reza i otvorene površine za provlačenje žice. Za provlačenje se koristi konopac s komadićem drveta na kraju, pa se dovodenjem vode pod pritiskom u bušotinu, potisne konopac na izlaz iz horizontalnog reza.

Zatvaranjem žice oko pogonskog kotača i nakon uspostavljanja dotoka vode započinje se piljenjem. Dolaskom pile na kraj tračnica - vodilica žica se skraćuje i pila pomiče u početni položaj. Ukoliko postoji opasnost da se rez uslijed mase kamena stisne u njega se umeću željezni klinovi, koji ne dozvoljavaju stiskanje reza, a samim tim i zaglavu žice u rezu.

Obodna brzina dijamantne žice kreće se oko 40 m/s i ukoliko dođe do pucanja žice, uslijed naglih promjena (diskontinuiteta) opterećenja u rezu, oslabljenja užeta uz spojnicu, zamora materijala itd. dijamantne perle i opruge se razlete velikom brzinom, a i dijamantna žica izleti po luku u pravcu rezanja prema pili što sve predstavlja veliku opasnost za radnike. Da se ublaži ta opasnost dijamantna žica se formira tako da se poslije svakih 5 perli na uže učvršćuje blokirni osigurač (distančnik) koji sprječava ispadanje većeg broja perli, tj. sa žice mogu izletjeti samo elementi koji se nalaze između dva blokirna osigurača. Komandni ormarić je odvojen od stroja tako da se strojem rukuje sa sigurnosnog razmaka izvan najviše ugrožene zone od mogućeg razleta perli. Pri pucanju žice stroj se isključuje, a oko pogonskog kotača nalazi se zaštitni poklopac, te zaštitni zaslon na stroju iza žice koji mora biti podignut za vrijeme piljenja.

Uz ovu “tvorničku” zaštitu potrebno je u posebnim slučajevima provesti i dodatnu zaštitu. Pri piljenju vertikalnog reza postaviti (slika 15.18.) daščanu (ili čeličnu) ogradu visine oko 3 m, širine oko 2 m ovisno o širini etaže i površini koja se pili. Kod horizontalnog reza osim što se komandni ormarić postavlja na višu etažu rez se štiti ogradom. Kako je horizontalni rez na visini od oko 15 cm od razine s kojeg se pili, ogradi se širina reza drvenom ogradom visine oko 50 cm po cijeloj dužini reza (slika 15.19.). Nikakvi poslovi svejedno nisu dozvoljeni u ravnini reza iza pile dok ova radi. Postavljena ograda oko reza štiti i radnike koji nisu zaposleni na dijamantnoj žičnoj pili. Za vrijeme rada stroja rukovatelj kontrolira posmak stroja, i stanje ampermetra, a također vodi računa o pravilnom doziranju tehnološke vode. U slučaju bilo kakve intervencije u zoni rada stroja isti se mora zaustaviti.

15.2. DIJAMANTI

Dijamant (lat. *diamas* ukršten s *ádamas* /čelik/ = dijamant) je jedna od polimorfni modifikacija ugljika. Druga je grafit (grč. *gráphein* = pisati). Razlikuju se rasporedom atoma u kristalnoj rešetki. Dijamant ima kubičnu kristalnu rešetku sastavljenu od 18 atoma ugljika u kojoj svaki atom obrazuje po 4 veze s 4 najbliža atoma. Ta veza, poznata kao kovalentna, pridonosi jakom sjedinjenju jednog s drugim atomom. Grafit ima, za razliku od dijamanta, slojevit u heksagonalnu strukturnu rešetku u kojoj je svaki atom ugljika vezan samo s 3 druga atoma. Te 3 veze se nalaze u jednoj istoj ravnini, pa sloj atoma ima debljinu jednog atoma. Zato grafit ima veliku čvrstoću veza u predjelu pojedinog sloja atoma, ali veoma slabu između pojedinih slojeva. Zbog slojevite strukture i slabih veza između slojeva (van der Waalsove sile), odlično se kala po slojevima, odnosno baznim pinakoidima. Jedan je od najmekših minerala ($T = 1$).

Osim ugljika prisutne su u kristalima dijamanta veoma male količine primjesa raznih kemijskih elemenata. Glavna je primjesa dušik (do 0,2 %), koji se najčešće javlja kod svih prirodnih dijamanta. Od ostalih elemenata javljaju se u veoma malim količinama: aluminij, magnezij, kalcij, željezo, titan i drugi. Od vrste primjese ovisi njegova boja i prozračnost. Prozračni bezbojni kristali dijamanta, relativno većih dimenzija spadaju u drago kamenje. Dijamant nastaje kao pirogeni mineral pri visokoj temperaturi i tlaku i ima ga u ultramafitnim magmatskim stijenama, kimberlitima, koje su nazvane prema mjestu Kimberley u Južnoafričkoj Republici gdje je najpoznatije nalazište primarnog postanka. Oko 80 % svih dijamanta u svijetu koristi se za tehničke svrhe, a svega oko 20 % je drago kamenje. Međutim, količina prirodnih dijamanta u tehnici je ograničena njihovom deficitarnošću i niskim dijamantnim sadržajem u dijamantnim stijenama (najviše 0,00001 %). Široku primjenu koju dijamanti imaju u raznim industrijskim granama zahvaljuju svojim svojstvima posebice unikatnoj tvrdoći. Osim velike tvrdoće temeljna fizička svojstva dijamanta su: velika otpornost na habanje, dobra toplinska provodljivost, mali koeficijent toplinskog izduženja, slaba električna provodljivost, velika osjetljivost na udar i promjenu temperature.

Tvrdoća dijamanta

Tvrdoća dijamanta po Mohsovoj skali iznosi 10 ($T = 10$) tako da se on nalazi na vrhu skale i predstavlja etalon mineral. Dijamant ima 10 puta veću tvrdoću od kremen (kremen se nalazi na 7 mjestu Mohsove skale) i 7 puta veću tvrdoću od korunda koji na Mohsovoj skali ima tvrdoću 9 i nalazi se odmah iza dijamanta.

Usporedo s velikom tvrdoćom dijamant je i veoma krt. Kao i svaki drugi kristal on ima ravnine slabije otpornosti po kojima se dijamant može lako lomiti. Ovo se objašnjava nejednakim razmacima između atoma u različitim pravcima i nejednakim brojem atoma u raznim ravninama. Zbog svoje krtosti dijamantna zrna ne podnose udarna naprezanja, pa se ne koristi na alatima koji su izloženi takvim naprezanjima.

Čvrstoća dijamanta

Čvrstoća dijamanta znatno premašuje čvrstoću drugih temeljnih abrazivnih materijala (borkarbid, silicijumkarbid, elektrokorund), koji se primjenjuju na alatima za rezanje i obradu kamena. Čvrstoća na tlak mu je oko 3000 MPa, a na savijanje 300 do 500 MPa iako može kolebati u širokim granicama. Čvrstoća dijamanta može se razlikovati za 2 do 4 puta ovisno o obliku kristala, s tim da oblik kocke ima najmanju, a oktaedar s zaobljenim rubovima najveću čvrstoću. Čvrstoća im ovisi i o veličini, tako da se specifična čvrstoća kristala jednolikog oblika i kvalitete povećava sa smanjenjem njegovih dimenzija.

Otpornost na habanje

Dijamant se odlikuje velikom otpornošću na habanje. Otpornost na habanje mu je veća za 40 do 200 puta od tvrdog čelika, a 2000 do 5000 puta od raznih vrsta visokolegiranih termički obrađenih čelika. Brusna sposobnost dijamanta je 500 do 3500 puta veća od silicijkarbida, a 1500 do 6000 puta od borkarbida.

Termičke značajke

Temeljno termičko svojstvo dijamanta je njegova velika toplinska vodljivost. Najbolji je vodič topline $G \approx 3,5$. Ova značajka se, kod dijamantnih alata, povoljno odražava na odvođenje topline za vrijeme rada, povećavajući mu time vijek trajanja. Dijamanti koji su čisti i bez primjesa imaju i do 2,5 puta veću toplinsku vodljivost od običnih. Kod promjene temperature od -200 do +100°C toplinska vodljivost dijamanta se ne mijenja. Koeficijent linearnog toplinskog izduženja je kod dijamanta 8 do 10 puta manji od koeficijenta za čelik, i 4 do 5 puta manji od tvrdih metala. Koeficijent linearnog toplinskog izduženja dijamanta je funkcija temperature i povećava se s povećanjem temperature.

Kemijska inertnost

Važno svojstvo tehničkih dijamanta je njihova visoka otpornost na djelovanje kemijskih sredstava. Kiseline kao ni druge kemikalije ne nagrízaju dijamant. Jedino elementi koji djeluju pri visokim temperaturama kao oksidacijski elementi mogu pri temperaturi od oko 1000°C djelovati na dijamant. Natrijev nitrat djeluje na dijamant i pri nižoj temperaturi (oko 600°C), pa se ne smije dopustiti da dijamanti dođu pod djelovanje tih elemenata kod povišenih temperatura. Drugi oblik kemijskog djelovanja na dijamant je djelovanje dvaju grupa metala. Prva grupa u koju spadaju: volfram, tantal i titan, može kemijski djelovati na dijamant tako da se pri temperaturi od 1000°C pri dodiru s dijamantom stvara karbid. Druga grupa metala u koju spadaju: željezo, kobalt, mangan, nikal i krom javljaju se kao pravi rastvarači dijamanta ako se nađu u tekućem stanju.

Grafitizacija dijamanta

Grafitizacija je pojava koja se javlja kad se dijamant izloži previsokoj temperaturi. Ukoliko se dijamant zagrijava u atmosferi koja je bogata kisikom ili nekim aktivnim plinom, već kod 600°C pojavit će se na dijamantu crni površinski sloj. To još nije prava grafitizacija, jer ona obilježava prijelaz dijamanta u ugljik bez pomoći vanjskih agenasa. Grafitizacija će se pojaviti kad se dijamant podvrgne temperaturi od 1500°C u inertnoj atmosferi. Daljim povećanjem temperature proces grafitizacije se intenzivira i pri temperaturi od 2100°C zrno dijamanta od 0,1 karat prelazi potpuno u grafit za manje od 3 minute. Budući da dijamantni alati rade u normalnoj atmosferi, problemu temperature se mora posvetiti velika pozornost kod svih načina rada u kamenu. Neophodno je započeti s vodenim hlađenjem prije stavljanja alata u rad.

Kristali dijamanta

U procesu kristalizacije dijamanti, kao i većina ostalih minerala, dobiva različite oblike s nekim greškama koje iskrivljuju idealan oblik kristala. Dijamant se najčešće javlja kao oktaedar, dodekaedar, kocka, ali ima i druge oblike kao što su: rombododekaedar, tetraedar i slično (slika 15.20.). Površine kristala nisu uvijek glatke i pravilne, već se najčešće nalaze dijamanti čiji su rubovi zaokruženi, a sa strane imaju lamelasti oblik i neravnine od nagrivanja. Jedinična mjera za masu dijamanta kao i drugog dragog kamenja je karat (kt) pri čemu je: 1 karat $\approx$ 0,2g (točno 0,2053 g), odnosno 5 karata $\approx$ 1 g). Budući da se čistoća plemenitih metala također izražava karatom, te dvije mjere treba jasno razlikovati. Specifična gustoća dijamanta je konstantna i kod čistih i pravilnih kristala iznosi 3,49 do 3,54 g/mm³.

Podjela prirodnih dijamanta

Po kvaliteti kristala prirodni dijamanti se dijele na drago kamenje i tehničke dijamante. Razlikuju se agregata tehničkih dijamanta Bort, balas i karbonado.

Bort se odlikuje velikom tvrdoćom ima nepravilan oblik, pa time i više reznih rubova. Kristali su mu neprozirni srebrenosive boje s plavkastim i žućkastim nijansama i obično su raspucani. Ne može izdržati veće pritiske i udarce. Od njega se izrađuju alati za obradu kamena i alati za bušenje. Crni dijamant - karbonado je sitnozrnasti agregat dijamanta ovalnog oblika zbijenog ili potoznog sastava. Obično je tamno zagazite boje, ali može biti i siv, sivozelen ili crn. Kristali karbonada se odlikuju velikom otpornošću na habanje, podnose veća udarna naprezanja, pa su i teže lomljivi od kristala borta, ali imaju manju tvrdoću od njega. Dijamanti tipa balas su agregati sferičnog oblika, nemaju sjaja a po boji variraju od bijelih do crnih. U usporedbi s bortom balasi imaju veću čvrstoću ali manju tvrdoću. Balas i karbonado se najviše koriste za izradu bušačkih alata.

Sintetički dijamanti

Sintetički dijamanti su dijamanti napravljeni specijalnim postupkom pri kojem se grafit i katalizatori pod visokom temperaturom i tlakom prevode u drugu alotropsku modifikaciju - dijamant. Po nekim svojim značajkama sintetički dijamanti su čak i povoljniji od prirodnih. Glavna im je značajka, kao i u prirodnih, velika tvrdoća, a po ostalim fizičkim svojstvima se bitno ne razlikuju od prirodnih

dijamanata. I kod sintetičkih dijamanata postoji velika krtost kao negativna značajka, pa se alati pri radu ne smiju izlagati udarnim naprezanjima. Kakvoća sintetičkih dijamanata je stabilnija od one u prirodnih, jer se parametri za vrijeme procesa nastajanja mogu kontrolirati i mijenjati za razliku od prirodnih kod kojih kakvoća ovisi o mjestu nastanka i uvjetima pod kojim su nastajali.

Iako je Bridgman još 1947. godine postavio teorijske osnove prijelaza grafita u dijamant ovisno o temperaturi i tlaku, tek je 1955. tim stručnjaka američke tvrtke General Electric Co. uspi ostvariti ovu sintezu. Proces sinteze dijamanata provodi se u specijalnim relativno malim posudama pod visokim tlakovima koje ostvaruju hidraulične prese. Proces se odvija pod tlakovima 5600 do 16000 MPa i temperaturi 1500 do 3000°C i najčešće traje nekoliko minuta. Kao katalizatori koriste se obično: nikal, krom, kobalt, tantal i drugi materijali.

Na slici 15.21. prikazano je zrno prirodnog i sintetičkog dijamanta veličine zrna 60 do 90 mikrona pri povećanju 12000 puta. Iz slike se vidi da je površina i oblik sintetičkog dijamanta povoljniji za izradu alata za piljenje kamena, jer ima veći broj reznih rubova.

Različiti parametri u procesu sinteze omogućuju dobivanje dijamanata različite kakvoće. Pri tom veliku ulogu igra brzina rasta kristala, koja se kreće od nekoliko sekunda pa do nekoliko sati. Kod sinteze s maksimalnim temperaturama i pritiscima obrazuje se mnogo centara kristalizacije i dolazi do brzog rasta većeg broja dijamantnih kristala, što dovodi do njihovog spajanja i obrazovanja sraslaca. Dijamantni prah potrebne granulacije dobiva se, od ovakvih sraslaca, drobljenjem. Dijamantna se zrna sastoje, kod ovakve sinteze, od mnoštva sitnih kristala s neravnom površinom. U procesu sinteze s minimalnim tlakovima i temperaturama (pri kojima je moguć prijelaz grafita u dijamant) dolazi do sporog rasta kristala i tako nastaju kristali većih dimenzija. Dijamantni produkt nastao na ovaj način su jednokristalna zrna koja ovisno o režimu sinteze mogu imati različiti oblik, količinu primjesa, boju i čvrstoću. Parametri procesa sinteze (temperatura, tlak, katalizatori), a također i metode obrade i sortiranja dobivenih zrna određuju njihovu čvrstoću, lomljivost, oblik, karakter površine i time njihovu pogodnost za različite tehnološke potrebe.

15.2.1. Formiranje dijamantnog segmenta

Dijamantni sloj određene koncentracije se formira na dijamantnom segmentu (perli) povezivanjem dijamantnih zrnca pomoću veziva u jednu cjelinu. Za dijamantne alate za kamen se koriste različita veziva i neprestano se nastoji poboljšati njihova svojstva kako bi veziva što više odgovarala različitim načinima primjene dijamantnih alata za kamen.

Najrasprostranjeniji postupak sjedinjavanja veziva s dijamantnim zrnima u dijamantni segment je metoda sintetiziranja. Termin sintetiziranje se koristi za prikaz termičke obrade (žarenje) pomoću koje se praškovi transformiraju u čvrste i guste polukristalne aggregate. Prije samog sintetiziranja treba najprije obaviti presanje praškova. U tu se svrhu dijamantna zrnca pomiješaju s metalnim prahom, kojem se prethodno dodalo pomoćno sredstvo za sintetiziranje koje smanjuje trenje između čestica praha. Ovakva se smjesa stavlja u alat za presanje (matricu) i s odgovarajućim pritiskom presa u komade koji u nesintetiziranom stanju moraju imati određenu čvrstoću, tzv. zelenu čvrstoću. Da bi se iz sirovih, zelenih ispresalka, dobili gotovi komadi zadovoljavajuće čvrstoće oni se termički obrađuju sintetiziranjem. Tijekom ovog procesa metalne čestice - zrna - se međusobno povezuju zavarivanjem

(zatapanjem). Sintetiziranje se izvodi zagrijavanjem ispresanih komada, a budući se pri izradi dijamantnih segmenata radi o malim komadima koji se poslije sintetiziranja, nakon hlađenja, završno dotjeruju mehaničkim putem, zagrijavanje je direktno (direktnim propuštanjem struje kroz ispresak). Sintetiziranje se provodi pri radnoj temperaturi nižoj od temperature taljenja bilo koje komponente, a sam proces sinteze treba biti kratak kako ne bi došlo do oštećenja dijamantnih zrna. Da bi se postigla što zbijenija struktura i veća čvrstoća segmenti se, prije završnog dotjerivanja, podvrgavaju dodatnom vrućem presanju (sintetiziranje pod tlakom). Prilikom ovakvog istovremenog presanja i sintetiziranja mehanički pritisak djeluje na povećanje kontaktnih mjesta pa se dobiva produkt velike gustoće. Da se dobije velika čvrstoća veze između veziva i dijamantnih zrna potrebno je koristiti materijale koji imaju kemijsko djelovanje s dijamantom. Tako se čvrstoća veze osigurava ne samo silama mehaničkog učvršćenja nego i kemijskim djelovanjem. Takva se veza naziva adhezijsko-aktivna i dobiva se primjenom metalnih prašaka: željeza, kobalta, nikla, kroma, čelika itd. Ovi se metali ne koriste čisti jer se oni loše zbijaju pri umjerenim tlakovima, pa bi se sintetiziranje moralo provoditi pri visokim temperaturama. Zbog toga se, radi poboljšanja zbijenosti i sniženja temperature, uz ove metale dodaju plastičniji materijali kao bakar, olovo i drugi. Dodavanjem ovih metala snižava se abrazivna izdržljivost veziva, međutim, ona ostaje još uvijek dovoljno velika, a povećana je sposobnost vezanja dijamantnih zrna.

Svi tipovi mekih i srednje tvrdih veziva podvrgavaju se dodatnom vrućem presanju uz temperaturu od 850°C i tlak od 1,6 do 6,5 MPa. Kod najtvrdijih veziva dodatno se presanje provodi uz kratkotrajno djelovanje (do 5 min.) temperature koja doseže i do 1400°C, a tlak se penje do 8 MPa. Vrijeme u kojem se dijamantni sloj podvrgava visokoj temperaturi, strogo je ograničeno zbog mogućnosti grafitizacije dijamantata.

15.2.2. Temeljni parametri dijamantnog sloja

Temeljni parametri dijamantnog sloja kod višesječnih dijamantnih alata, kakve su i dijamantne perle na dijamantnoj žici, su dijamantna zrnca i to njihova koncentracija, granulacija i marka (vrsta dijamantata), te vezivo s kojim su ta zrnca povezana.

Koncentracija dijamantata

Odnos količine dijamantata i veziva predstavlja koncentraciju dijamantata. Budući da za koncentraciju ne postoje jedinstvene norme, proizvođači dijamantnih alata sami daju svoje oznake i preporuke. Da bi se ipak izvelo izvjesno usaglašavanje usvojila je velika većina proizvođača da se pod stopostotnom koncentracijom (oznaka 100) podrazumijeva količina od 4,4 karata po kubičnom centimetru dijamantnog sloja (72 karata po kubičnom inchu). Prema tome količina dijamantata u jedinici obujma sloja za različite koncentracije računa se po formuli:

$$q_d = \frac{4,4 \cdot K}{100} \quad [\text{kt/cm}^3]$$

gdje su:

q_d	...	količina dijamantata u jedinici obujma, kt/cm^3
K	...	tražena koncentracija dijamantata, %

4,4 ... masa dijamanta (kt/cm^3) pri $K = 100 \%$.

Po ovoj je formuli napravljena tablica 15.1., s koncentracijama koje se najčešće koriste. Poneki proizvođači proširuju ovu tablicu, pa se tako npr. kod tvrtke Winter susreće i koncentracija 38 s $1,67 \text{ kt}/\text{cm}^3$ i koncentracija 135 s $6,0 \text{ kt}/\text{cm}^3$.

U bivšem Sovjetskom Savezu rabile su se oznake koncentracije od 25 do 200. Za 100 % koncentraciju (oznaka 100) uziman je sadržaj dijamanta od 0,88 g u 1 cm^3 dijamantnog sloja, što odgovara vrijednostima iz tablice 1 budući da je 1 karat $\approx 0,2 \text{ g}$.

U angloameričkom sustavu jedinica 100 % koncentraciji odgovara ista veličina, jer u tom slučaju jedan kubni inch ($1 \text{ inch}^3 = 16,387 \text{ cm}^3$) sadrži 72 karata (14,4 g) dijamanta pa je:

$$\frac{72}{16,387} = 4,4 \text{ kt}/\text{cm}^3 \text{ odnosno } \frac{14,4}{16,387} = 0,88 \text{ g}/\text{cm}^3$$

Kako je prosječna gustoća dijamanta $\rho_d = 3,52 \text{ g}/\text{cm}^3$, to znači da je kod koncentracije 100 % (koja sadrži $0,88 \text{ g}/\text{cm}^3$), volumni sadržaj dijamanta u 1 cm^3 dijamantnog sloja 25 %, a veziva 75 %. Prema tome volumni sadržaj dijamanta za različite koncentracije računa se po formuli:

$$V_d = \frac{0,88 \cdot K}{\rho_d} [\%]$$

gdje su:

V_d ... volumni sadržaj dijamanta za različite koncentracije,

K ... tražena koncentracija, %

$\rho_d = 3,52 \text{ g}/\text{cm}^3$... gustoća dijamanta.

Po ovoj su formuli u tablici 1, sračunani volumni sadržaji dijamanta za dane koncentracije.

Koncentracija dijamanta određuje broj režućih elemenata na radnoj površini dijamantne perle, pa uz druge parametre, bitno utječe na potrošnju dijamantnog sloja, odnosno na efikasnost dijamantnog alata. Povećanjem koncentracije (kod nepromijenjene granulacije) povećat će se i broj zrna, pa će razdioba svekolikih naprezanja izazvati smanjenje naprezanja po jednom zrnju i smanjenje potrošnje dijamantnog sloja. Koncentracija je značajan parametar ne samo s tehničko-tehnološkog motrišta već i s ekonomskog, jer cijena dijamantnog alata umnogome ovisi o količini dijamantnih zrna u njemu. Rezultati brojnih istraživanja su pokazali da se s povećanjem koncentracije smanjuje potrošnja dijamantnog sloja, što je i logično jer veća koncentracija znači i veći broj reznih zrna, pa se analogno tome povećava životni vijek alata u cjelini. Međutim, manja potrošnja sloja (kod povećane koncentracije) ne znači i manju potrošnju dijamanta, jer kod veće koncentracije u istom volumenu sloja ima i više dijamanta. Zato treba, pri izboru koncentracije, voditi računa o tome da nije optimalna koncentracija ona kod koje će se dobiti, za određeni kapacitet, najmanja potrošnja dijamantnog sloja, već ona koja će dati najmanju cijenu koštanja po m^2 obrađenog kamena.

Prije odluke o izboru koncentracije treba dobro proučiti i broj zastoja nastalih zbog oštećenja alata, jer oštećenje i zastoj na alatu s većom koncentracijom povlači veće troškove nego oštećenje alata manje koncentracije. Temeljem iskustava u

praksi, pokazalo se da optimalna koncentracija za piljenje mramora i drugih mekših stijena iznosi 30 do 40 %. Veće vrijednosti su opravdane u uvjetima piljenja s povećanim brzinama posmaka stroja uz veću obodnu brzinu žice (veća radna snaga), što daje veći kapacitet piljenja.

Tablica 15.1. - Količina i volumni sadržaj dijamantata kod različitih koncentracija

Koncentracija	20	25	30	35	40	45	50	75	11
karata/cm ³	0,88	1,10	1,32	1,54	1,76	1,98	2,20	3,30	4,40
grama/cm ³	0,176	0,220	0,264	0,308	0,352	0,396	0,440	0,660	0,880
Volumni sadržaj dijamantata, %	5,00	6,25	7,50	8,75	10,00	11,25	12,50	18,75	25,00

Granulacija dijamantata

Veličina dijamantnog zrna ima značajnu ulogu pri izradi dijamantno abrazivnih alata kako pri uporabi prirodnih tako i sintetičkih dijamantata. Povećanjem zrna povećavaju se otpori rezanju, pa zbog toga i vezivo koje drži zrna mora biti čvršće.

Industrijski razvijene zemlje koje proizvode dijamante i dijamantne alate normirale su veličine zrna normama koje se međusobno prilično razlikuju. Uglavnom se susreću dvije vrste oznaka. Kod jednih (kao što je to slučaj kod američkih normi U.S. Standard ASTM E 11-39 ili kod britanskog B.S.410), definira se veličina zrna brojem mesha, tj. broj koji označava veličinu zrna govori o tome koliko je otvora po jedinici površine imalo sito kroz koje su dijamantna zrna sijana. Kod drugih (kao npr. kod njemačkih normi DIN 848) broj označava srednju veličinu zrna u mikronima. To praktično znači da po njemačkim (evropskim) normama veći brojevi odgovaraju većim dijamantnim zrnima, dok po američkim i engleskim (angloameričkim) normama veći broj znači da je dijamantno zrno sitnije, jer je prosijavano kroz sita s velikim brojem malih otvora po jedinici površine. Obzirom da DIN 848 daje srednju veličinu zrna u mikronima, to npr. oznaka D 450 (500/400) znači da će sva zrna proći kroz otvor sita veličine 500 µm, ali će se zadržati na situ čiji je otvor 400 µm. Širina otvora sita predstavlja ustvari veličinu zrna u mikronima. Odgovarajuće veličine zrna izražene u meshima imati će oznaku 35/40, što znači da su zrna prošla kroz sito koje ima 35 otvora po inchu, a zadržala se na situ koje ima 40 otvora na 1 inch. Broj mesha na jedan palac ne određuje onako jednoznačno granulaciju dijamantata kao pri izražavanju u mikronima, jer on ukazuje na broj otvora sita a ne na točne dimenzije otvora. Tu je otvor sita, a njime i granulacija dijamantata određena dvjema veličinama i to svijetlim otvorom sita, ali i promjerom žice od kojih su sita napravljena. Zato se kod izražavanja granulacije u meshima treba uz zemlju i normu navesti i broj norme sita.

Pojedini proizvođači dijamantnih alata i nadalje raščlanjuju oblast definicije normi tako da pružaju još veće mogućnosti za izbor veličine zrna. Da bi se uskladili razni nacionalne norme koje vrijede u Europi, predložilo je udruženje europskih proizvođača abrazivnih sredstava FEPA (Federation Europeene des Fabricants de Produits Abrasifs) jedinstvenu normu koja će vjerojatno biti usvojena kao jedinstvena europska norma.

U bivšem Sovjetskom Savezu se također poklanjala velika pozornost normizaciji sitnih drobljenih dijamantnih zrna i dijamantnog praha, pa je od 1971. g. na snazi standard GOST 9206 koji regulira ovu materiju. Ovom se normom jasno definira i način kontrole dijamantnih drobljenih zrna, što je neobično važno kada se ima na umu da zrno koje je veće od otvora sita, a ima pogodan oblik, može lako

proći po dijagonali otvora. Drobljena dijamantna zrna se po ovoj normi dijele ovisno o veličini zrna i načina kontrole u dvije grupe:

- zrna veća od 40 do 60 μm , koja se prosijavaju kroz sita, a kontroliraju se specijalnim kontrolnim sitom,
- zrna manja od 40 do 60 μm (mikro-prah), koja se odvajaju taloženjem, a veličina im se kontrolira mikroskopom pri povećanju od 600 do 1800 puta.

Normom se točno određuje kroz koje sito određena veličina zrna mora proći i na kakvom se situ mora zadržati. Tako oznaka 400/315 pokazuje da zrna temeljne frakcije tog praha prolaze kroz sito s dimenzijom otvora od 400 μm a zadržavaju se na situ s dimenzijom otvora od 315 μm .

Pri određivanju veličine dijamantnog praha uzima se, pod mikroskopom, kao mjera polovica zbroja dužine i širine pravokutnika koji se može ucrtati oko zrna (15.22.). U tablici na slici 15.23. navedene su veličine dijamantnih zrna po različitim nacionalnim normama, kao i prema međunarodnim normama ISO i prijedlogu normi FEPA.

Veličina dijamantnih zrna određuje na dijamantnom sloju, uz istu koncentraciju, broj režućih elemenata sloja.

Većim zrnima odgovara i veća količina rezanjem skinutog materijala u jedinici vremena, ali to prati pojava većih naprezanja na reznoj površini, kao i povećana temperatura, pa je potrebna i veća količina vode za hlađenje. Veća količina skinutog kamena pojedinim zrnom daje lošiju kvalitetu ispiljene površine, pa je kad je takva kvaliteta od presudnog značaja (za eksploatacijsko piljenje dijamantnim perlama to nije slučaj), neophodna primjena sitnijih dijamantnih zrna. Različitim granulatima dijamantnih zrna odgovaraju različiti površinski pritisci. Naime s povećanjem dijamantnog zrna, povećava se i veličina strugotine, jer je povećana površina prodora u kamen, a time su povećana i naprezanja na pojedinom zrnju. Promjenom ostalih tehnoloških (radnih) čimbenika ova se naprezanja također mijenjaju, pa povećanje ili smanjenje granulacije dijamantnih zrna zahtijeva i adekvatnu promjenu tih čimbenika.

Pri izboru optimalne granulacije dijamanta treba, naravno, prvenstveno voditi računa (kao uostalom i pri izboru ostalih čimbenika dijamantnih alata) o vrsti kamena. U ovom slučaju posebice o veličini zrna mineralnih sastojaka odnosno njegovoj strukturi i teksturi.

Marka dijamanta

Za izradu dijamantnih perli koristi se veliki asortiman prirodnih i sintetičkih dijamanta sa širokim dijapazonom fizičko-mehaničkih i eksploatacijskih svojstava, a dijamanti pojedinih marki imaju veliki dijapazon granulacija.

U bivšem Sovjetskom Savezu norme su sadržavale, osim veličine, i podatke o kvaliteti zrna. Kvalificirale su pet marki sintetičkih dijamanta (ASO, ASR, ASV, ASK, ASS) od kojih su dvije (ASK i ASS) namijenjene za dijamantne alate za piljenje kamena. Marka ASO sadrži zrna s velikim brojem reznih rubova uz visoki stupanj samooštrenja. Zrna imaju sposobnost izvrsnog usađivanja u vezivo ali su prilično krta. Marka ASR sadrži zrna veće čvrstoće a manje krtosti s velikim brojem reznih rubova i dobrim usađivanjem u vezivo. Marka ASV ima još manju krtost i veću čvrstoću sa smanjenim brojem oštih reznih rubova. Krtost zrna marke ASK se i dalje smanjuje u odnosu na prethodnu marku, a čvrstoća se povećava. Koriste se u čvrstim metalnim vezivima pri teškim uvjetima rada, kao što je piljenje arhitektonsko-građevnog kamena. Za dijamantne pile pri obradi kamena upotreblja se

i marka dijamantata ASS koja sadrži zrna s relativno najmanjim brojem reznih rubova, ali s najvećom čvrstoćom u usporedbi sa svim ostalim sintetičkim i prirodnim dijamantima. Dijamantni mikro-prah je podijeljen u dvije grupe i to: prah sintetičkih dijamantata (marke ASM i ASN) s normalnim i prah prirodnih dijamantata (marke AM i AN) s povećanim brusnim svojstvima.

I ostali proizvođači dijamantnih alata koriste različite marke kako prirodnih tako i sintetičkih dijamantata. Izradom specijalnih marki dijamantata s jasnom diferencijacijom oblasti njihove primjene dostignut je veliki progres na tom području.

Jedna od vodećih svjetskih tvrtki za proizvodnju dijamantata, belgijska tvrtka De Beers koristi za obradu kamena široki dijapazon dijamantnih zrna i prahova koji se klasificiraju po trima temeljnim značajkama: veličini, čvrstoći i obliku površine zrna. Od prirodnih dijamantata izvedene su marke EMB, EMB-S, DEBDUST, SNDMB, RDP I, RDP II, NRBT, od kojih su marke EMB, EMB-S, (slika 15.24.) i DEBDUST (sl. 15.25.) predviđene za obradu kamena. Zrna EMB imaju abrazivnu površinu s velikim brojem reznih bridova s izvanrednim svojstvima usađivanja u metalno vezivo. Naročito su pogodni u slučaju kad se traže postojana režuća svojstva uz dobru kvalitetu ispiljene površine. Nedostatak im je povećana specifična potrošnja. Zrna EMB-S su slična zrnima EMB s time da imaju još bolja vezna svojstva uz veći stupanj samooštrenja. Dijamanti marke DEBDUST imaju glatku površinu sa smanjenim brojem oštih reznih bridova, ali veću čvrstoću i primjenjuju se pri obradi tvrdog kamena. Od sintetičkih dijamantata tvrtka De Beers proizvodi široki dijapazon raznih marka dijamantnih zrna i praškova, od kojih se za dijamantne alate pri radu u kamenu koriste marke: SDA 100-S (slika 15.26.), SDA 100, SDA 85, SDA (slika 15.27.), MDAS (slika 15.28.) i EDC (slika 15.29.). Cijela serija dijamantata marke SDA je predviđena za dijamantne alate koji rade u teškim uvjetima. Svi se odlikuju velikom čvrstoćom i svrstani su na temelju čvrstoće. Tako marka SDA 100-S ima najveću, a marka SDA najmanju čvrstoću u seriji. Obzirom da sve marke u seriji SDA imaju veliku čvrstoću to se one prepoznaju i po pravilnosti oblika. Tako svi imaju pravilan valjčani oblik glatke površine s pojedinačnim kristalima oblika kubo-oktaedar. Opadanjem čvrstoće kod pojedinih marki povećava se broj reznih rubova i smanjuje glatkoća površine.

Jedan od najvažnijih čimbenika koji karakterizira kvalitetu dijamantata je njihova čvrstoća zrna, koja im određuje sposobnost suprostavljanja razaranju pod djelovanjem statičkih i dinamičkih naprezanja. Osim čvrstoće kao bitna značajka marku dijamantata karakterizira i kemijska čistoća. Sintetički dijamanti u usporedbi s prirodnim sadrže više primjesa katalizatora a prirodni imaju znatno više primjesa dušika (po svojstvima bliskog ugljiku) koji utječe na smanjenu toplinsku provodljivost dijamantata.

U laboratorijima De Beersa usavršena je metoda "oblaganja" dijamantnih zrna metalnim slojem (košuljicom). Razlog ovoga postupka je u tome što se metal bolje veže uz vezivo nego dijamant, pa i dijamantno zrno obloženo metalom (nikal ili njegove legure) puno čvršće leži u vezivu. Uz to, metalna obloga zadržava djeliće naprslog dijamantnog zrna što produžava vijek alata. Metalna obloga, također, djeluje i kao zaštita vezivu od direktnog prenošenja topline s dijamantnog zrna.

Različite marke dijamantnih zrna (prirodnih ili sintetičkih) daju i različite učinke, s obzirom da veća čvrstoća zrna smanjuje intezitet njihove potrošnje ovisno od oblika obrade i vrste obrađivanog kamena. Zbog toga proizvođači dijamantata diferenciraju oblast primjene pojedine marke. Tako npr. tvrtka De Beers preporučuje marke sintetičkih dijamantata velike čvrstoće SDA 100, za dijamantne pile za piljenje

najtvrdog kamena s velikim sadržajem SiO_2 , ili za kamen srednje čvrstoće kada se radi s velikim snagama i postiže veliki kapacitet piljenja. Optimalno abrazivna marka SDA 85 pokriva široki dijapazon stijena, a marka SDA je idealna za piljenje srednje tvrdih i mekših stijena. Marka SDA 100-S se, uz veliku čvrstoću zrna, odlikuje i izvanrednom kemijskom čistoćom pa je pogodna za rad u najtvrdim stijenama pod najtežim radnim uvjetima. Marka MDAS spada u grupu čvrstih dijamantata s izvanrednom sposobnošću prijanjanja u vezivo i velikom otpornošću na pritisak i visoku temperaturu, pa je predviđena za izradu alata za brušenje kamena. Marka EDC ima također izvanredne sposobnosti prijanjanja u različite vrste veziva, pa joj je dijapazon korištenja širok. Preporučuje se za piljenje kamena gaterima. Na slici 15.30. prikazana je De Beersova općenita preporuka za primjenu svojih sintetičkih dijamantata pri piljenju različitih vrsta stijena.

Iako sintetički dijamanti imaju gotovo ista svojstva kao i prirodni pokazalo se, kod nekih pokusa, da se sa sintetičkim dijamantima mogu postići veći učinci nego s prirodnim i miješanim dijamantima pri ostalim istim uvjetima. Ovo se objašnjava ne samo većim brojem reznih bridova koje ima zrno, već i većom lomnošću, tj. većim stupnjem samooštrenja sintetičkih dijamantata.

Vezivo

Vezivo služi za povezivanje dijamantnih zrna u jednu cjelinu stvarajući tako dijamantni sloj određene koncentracije, granulacije i marke dijamantata. Za dijamantne alate namijenjene za rad u kamenu, koriste se različita veziva i neprestano se nastoji poboljšati njihova svojstva kako bi što više odgovarala različitim vrstama radnih operacija i različitim vrstama kamena. Obzirom na različitost tehnoloških operacija pri radu s kamenom tvrdoća veziva se mijenja. U praksi se za segmente dijamantnih pila susreću tri temeljne grupe metalnog veziva svrstane po tvrdoći na:

- meko vezivo, bakelitno-olovna osnova;
- srednje tvrdo vezivo, kobaltna osnova;
- tvrdo vezivo temeljeno na karbidu, volframu i kobaltu.

Vezivo zajedno s dijamantnim zrnima obrazuje rezni dio segmenta. Uz veličinu zrna i koncentraciju dijamantata efikasnost primjene dijamantnog alata ovisi, u velikoj mjeri, i o kakvoći veziva. Visokoproduktivni procesi piljenja dijamantnim pilama karakterizirani su velikim naprezanjima na dijamantna zrna, kao i abrazivnim i toplinskim djelovanjem na dijamantni sloj, pa vezivo mora imati veliku sposobnost vezanja zrna, kao i veliku abrazivnu i toplinsku izdržljivost. Obzirom na velike razlike fizičko-mehaničkih svojstava kamena postoje i različita vezivna sredstva, pa proizvođači dijamantnih alata daju, temeljem svojih istraživanja) (pri čemu iskustvo ima veću ulogu nego pri tom izboru za ostale dijamantne alate), preporuke za izbor veziva za pojedine konkretne slučajeve. Ponekad su te preporuke krajnje pojednostavljene, a nerijetko su vezane samo uz tvrdoću veziva, s tim da bi se s povećanjem tvrdoće veziva proporcionalno povećavao i životni vijek alata.

Takav način izbora veziva, bez razmatranja drugih čimbenika nije prihvatljiv, jer treba imati na umu da najbolje vezivo nije ono koje se najmanje troši, nego ono koje u određenim uvjetima daje najbolje rezultate, uzimajući u obzir sve faktore koji prate proces piljenja.

Za vrijeme rada vezivo je izloženo habanju. Dok je dijamantni segment nov, svjež i oštra dijamantna zrna izviruju iz veziva kao što je prikazano na slici 15.31a. Između vrha zrna i veziva postoji zazor "p", a razmak između pojedinih zrna

omogućava dotok vode za hlađenje koja ujedno ispire strugotine kamena i sitne odlomljene čestice dijamantnih zrna i veziva (te sprječava zaprašenost okoliša).

Na slici 15.31.b vidi se stanje površine dijamantnog segmenta nakon rada kroz izvjesno vrijeme pri dobro odabranom vezivu. Poneka su zrna zatupljena a poneka okrnjena, pa su se pojavili novi rezni rubovi (samooštrenje) Radne se karakteristike alata nisu bitno izmijenile, pa ni učinkovitost piljenja.

Premekano vezivo (slika 15.31.c) će se brže trošiti i pojedina će zrna brže izvirivati iz veziva, što će povećati broj reznih površina ali će također smanjiti životni vijek alata. Pojedina će dijamantna zrna u ovom slučaju ispadati iz sloja prije vremena, pa je iskorištenje alata nepotpuno.

Na slici 15.31.d, prikazan je slučaj piljenja alatom s pretvrdim vezivom. Vezivo se u ovom slučaju sporije haba, što produžava životni vijek alata, međutim zatupljena dijamantna zrna smanjuju reznu visinu, pa ona ne izviruju dovoljno iz veziva, tako da se umjesto otkidanje strugotina (rezanja) javlja trenje što izaziva veća naprezanja, povećanje temperature, veći potrošak energije, a konačno i oštećenje alata. Rezanje ovakvom površinom alata je nemoguće, jer zrna ne mogu prodirati u kamen, pa da bi se ona ponovo pojavila izvan veziva potrebno je alat očistiti (nabrusiti), tj. ukloniti zatupljena zrna. To se postiže na taj način da se alatom reže pješčenjak ili neki sličan kamen. Pješčenjak, kao mekši abrazivni materijal, pruža neznatan otpor prodiranju zrna. Zrno prodire duboko i stvara se strugotina, jer se vezivo trljanjem po abrazivnom materijalu troši i dijamantna zrna se otkrivaju.

I koncentracija dijamanta različito djeluje na potrošnju sloja kod različitih vrsta veziva. Ukoliko vezivo ima dobru vodljivost topline smanjit će se, povećanjem količine dijamanta, količina veziva., pa će se smanjiti i koeficijent provođenja topline cijele smjese, odnosno povećat će se temperaturni faktor. Kod veziva koje je slab provodnik topline, porast će, povećanjem količine dijamanta, koeficijent toplinske vodljivosti sloja.

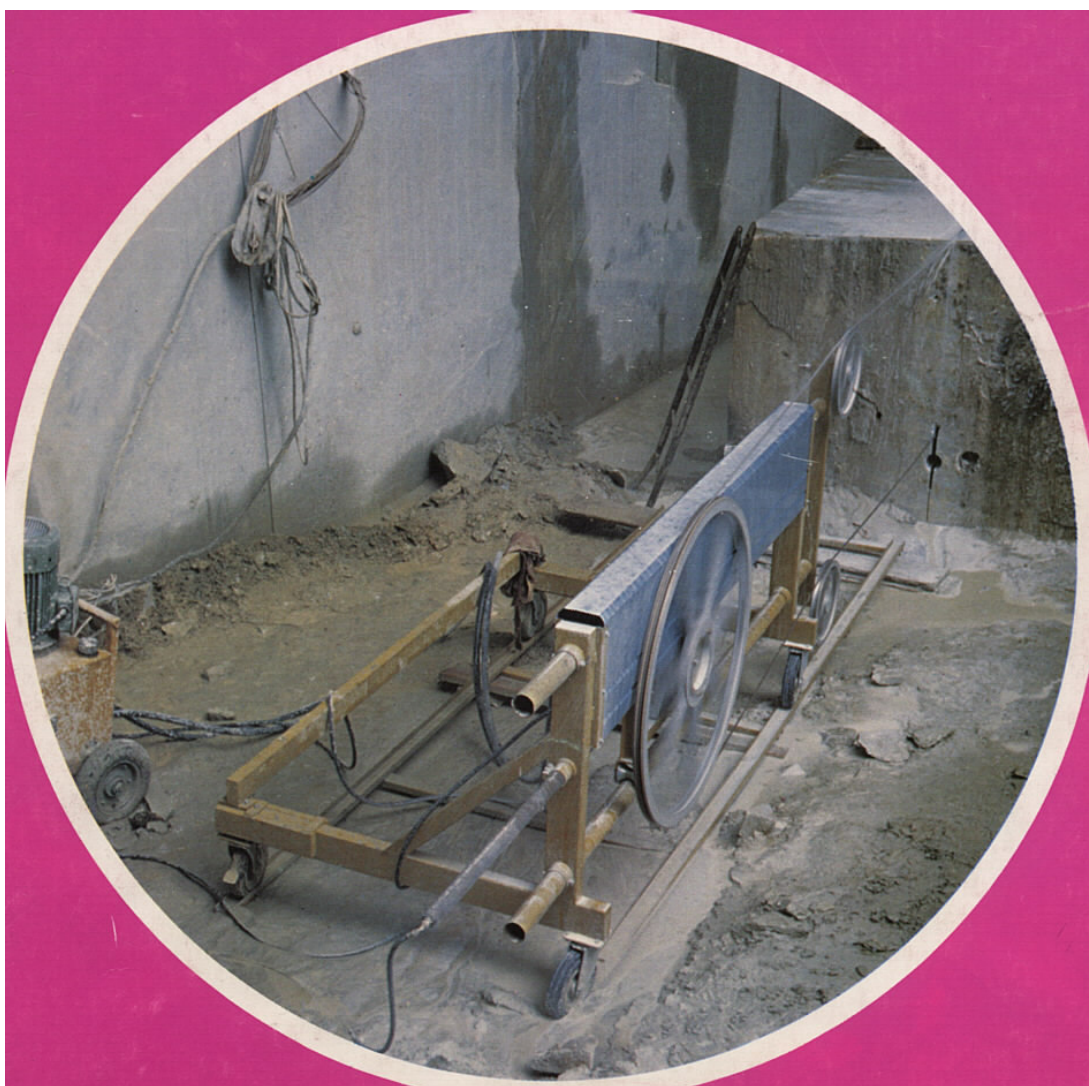
Budući da mehanička i termička naprezanja, osim na zrna, djeluju i na vezivo, važno je za potrošnju sloja veličina vezne čvrstoće zrna s vezivom. Istraživanja adhezijskih svojstava metaliziranih u odnosu na nemetalizirane dijamante, pokazala su da metalizirana zrna mogu izdržati daleko veća naprezanja od nemetaliziranih, tj. da metalizacija povećava dva do tri puta čvrstoću držanja zrna u vezivu. Povećanje vezne čvrstoće metaliziranih dijamanta objašnjava se boljim kemijskim vezivanjem metala s vezivom kao i povećanjem vezne površine, jer se mikropukotine i mikroneravnine na zrnu zapune visokoadhezijskim metalom, pa se i pritisak na zrno ravnomjernije raspoređuje. Poboljšanje veze dijamanta s vezivom naročito je bitno kod mekšeg veziva. Mekše se vezivo brže troši, čime se ubrzano smanjuje površina vezanja zrna, pa dolazi do brzog isturivanja svježih zrna iz veziva. Tada je količina razorenog kamena stalno velika, ali je velika i potrošnja sloja. Povećana čvrstoća vezanja zrna omogućava da se i dobro otkriveno zrno s manjom površinom u vezivu dobro drži i da ne dolazi do njegovog prebrzog ispadanja.

Ispitivanja utjecaja metalizacije na proces grafitizacije dijamanta pri visokim temperaturama, pokazalo je da grafitizacija metaliziranih dijamanta nastupa znatno sporije. Obični su dijamanti grafitizirali za 25 do 40 minuta, dok su dijamanti prekriveni niklom grafitizirali za 1,5 do 2 sata. Sporija grafitizacija se objašnjava termozaštitom koju tvori nikal i otežanim pristupom oksidirajućih agenasa k dijamantu.

Metalizacijom se također postiže bolji i ravnomjerniji raspored zrna u vezivu, čime se pri visokim koncentracijama smanjuje mogućnost kontakata susjednih zrna.

Primjenom metaliziranih sintetičkih dijamantata znatno se povećava njihova kakvoća, pa ispitivanja na tom području neprekidno traju. Svrha istraživanja je ustanovljavanje što točnijeg efekta metalizacije i povećanja čvrstoće zrna, kao i pravilan izbor metala, tehnologije njegovog nanošenja i određivanje optimalne debljine sloja na dijamantima različite granulacije.

Na kraju se napominje, da ni kod istih navedenih čimbenika radne površine segmenata neće biti identične. Unatoč iste koncentracije, granulacije i marke dijamantata, te nepromjenjenog veziva, mijenjati će se razni čimbenici koji karakteriziraju radnu površinu dijamantnog sloja kao što su: broj i raspored zrna na radnoj površini, broj i razmak zrna u jednoj liniji rezanja, veličina izbočenosti pojedinih zrna iznad razine veziva, odnosno broj zrna koja dolaze u direktni kontakt s piljenim kamenom, kao i stanje (istrošenost) pojedinih zrna.



Slika 15.1. - Dijamantna žična pila - najranija konstrukcija



Slika 15.2. - Dijamantna žična pila u kamenolomu travertina

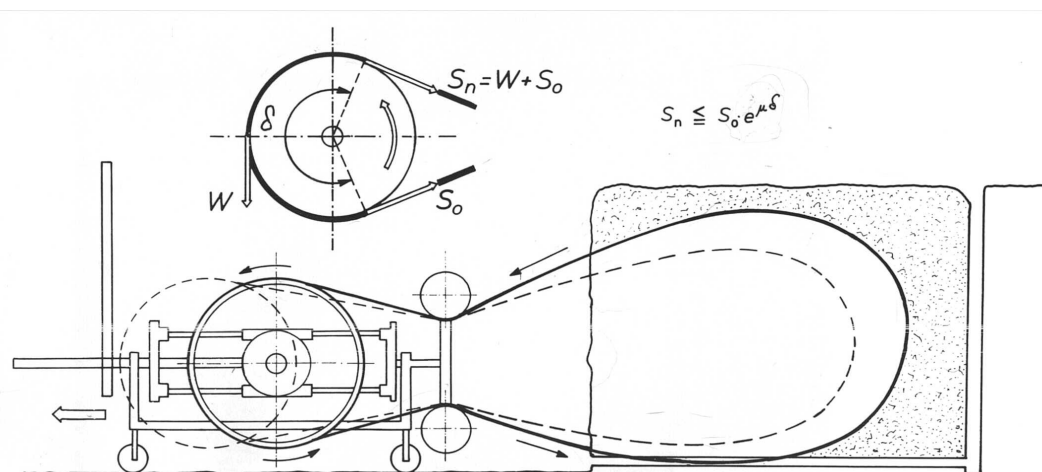


Slika 15.3. - Dijamantna žična pila s automatskom regulacijom napinjanja žice ovisno o naprezanjima u rezu

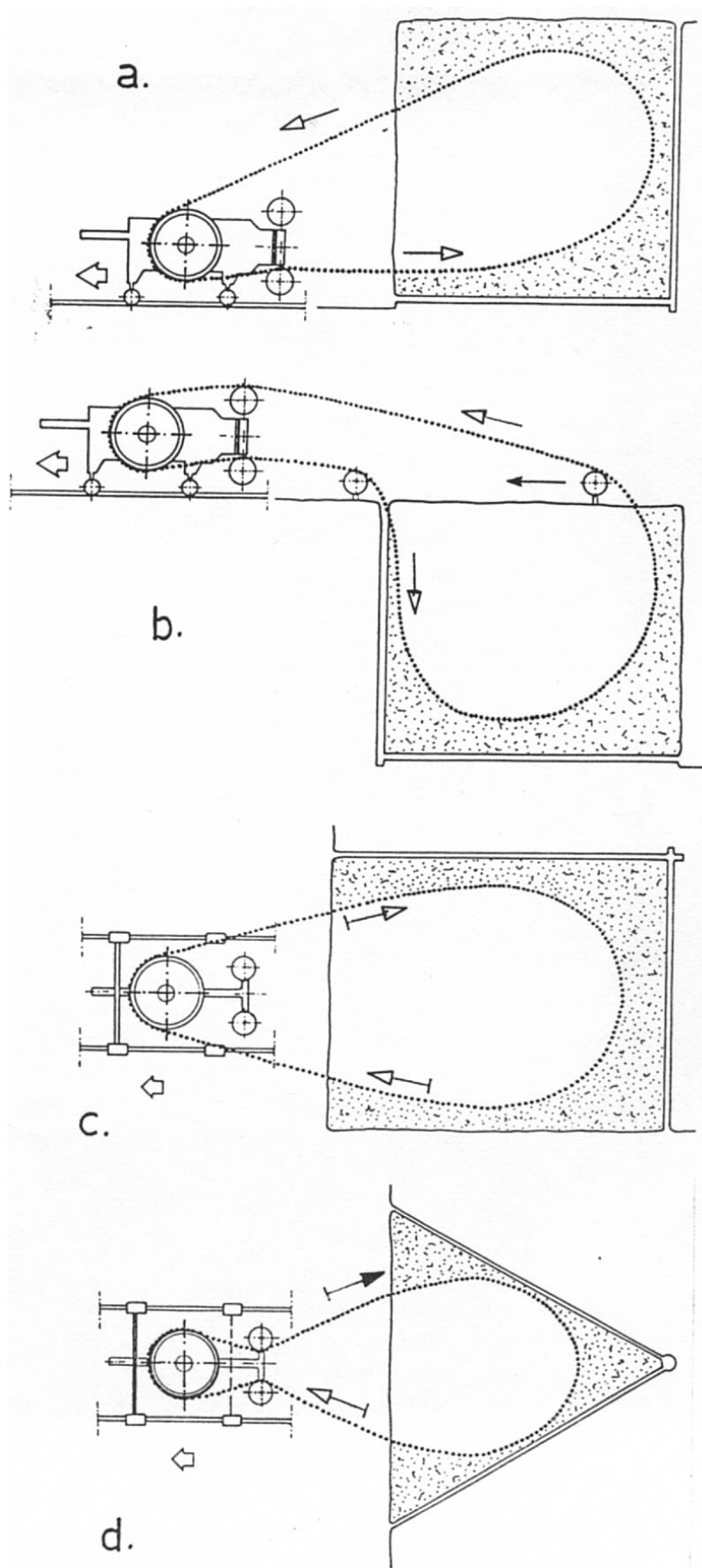
TELEDIESEL SUPER



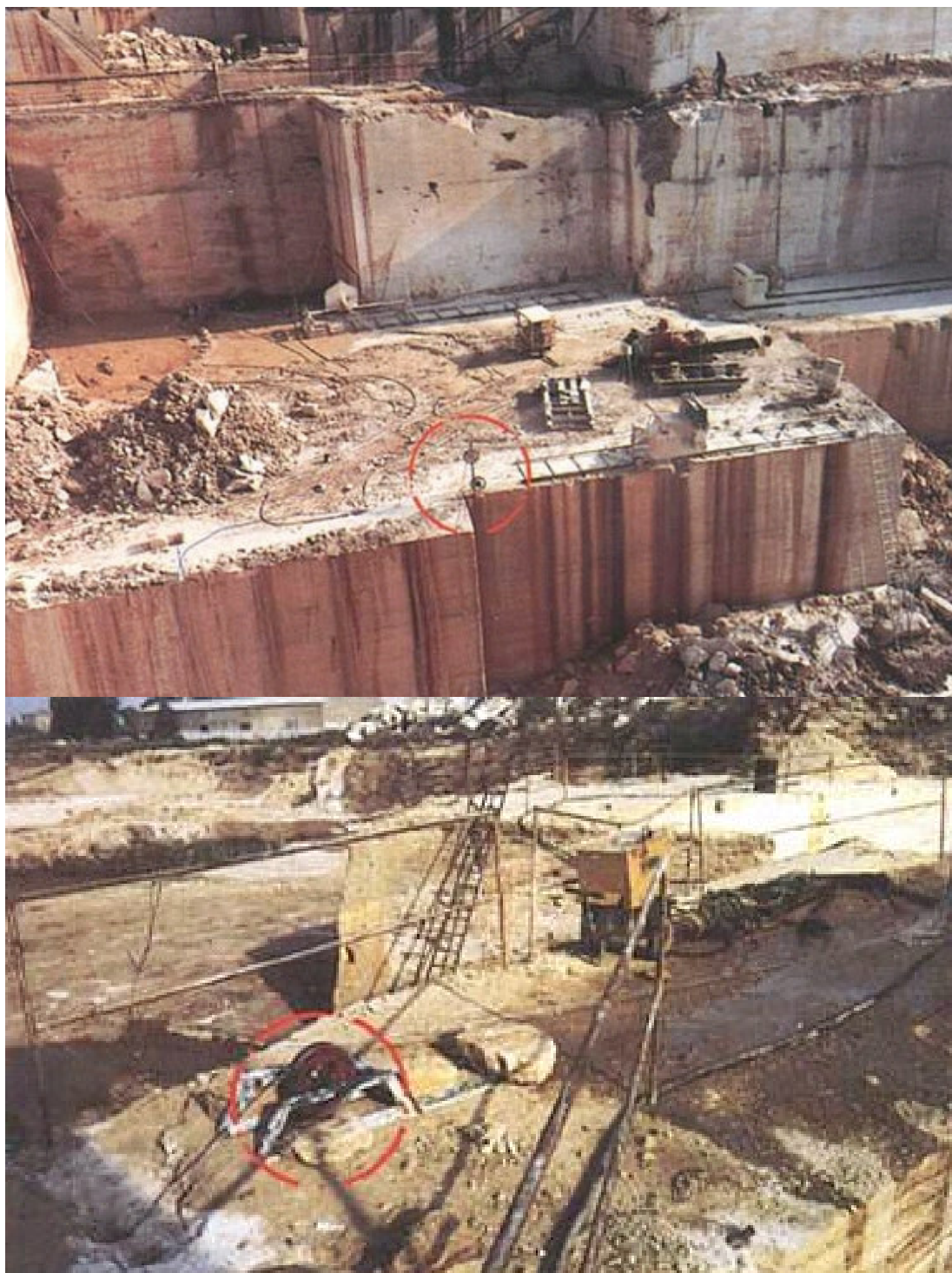
Slika 15.4. - Dijamantna žična pila, kojoj je u hidrostatičkom sustavu glavni pogonski motor dizelski motor



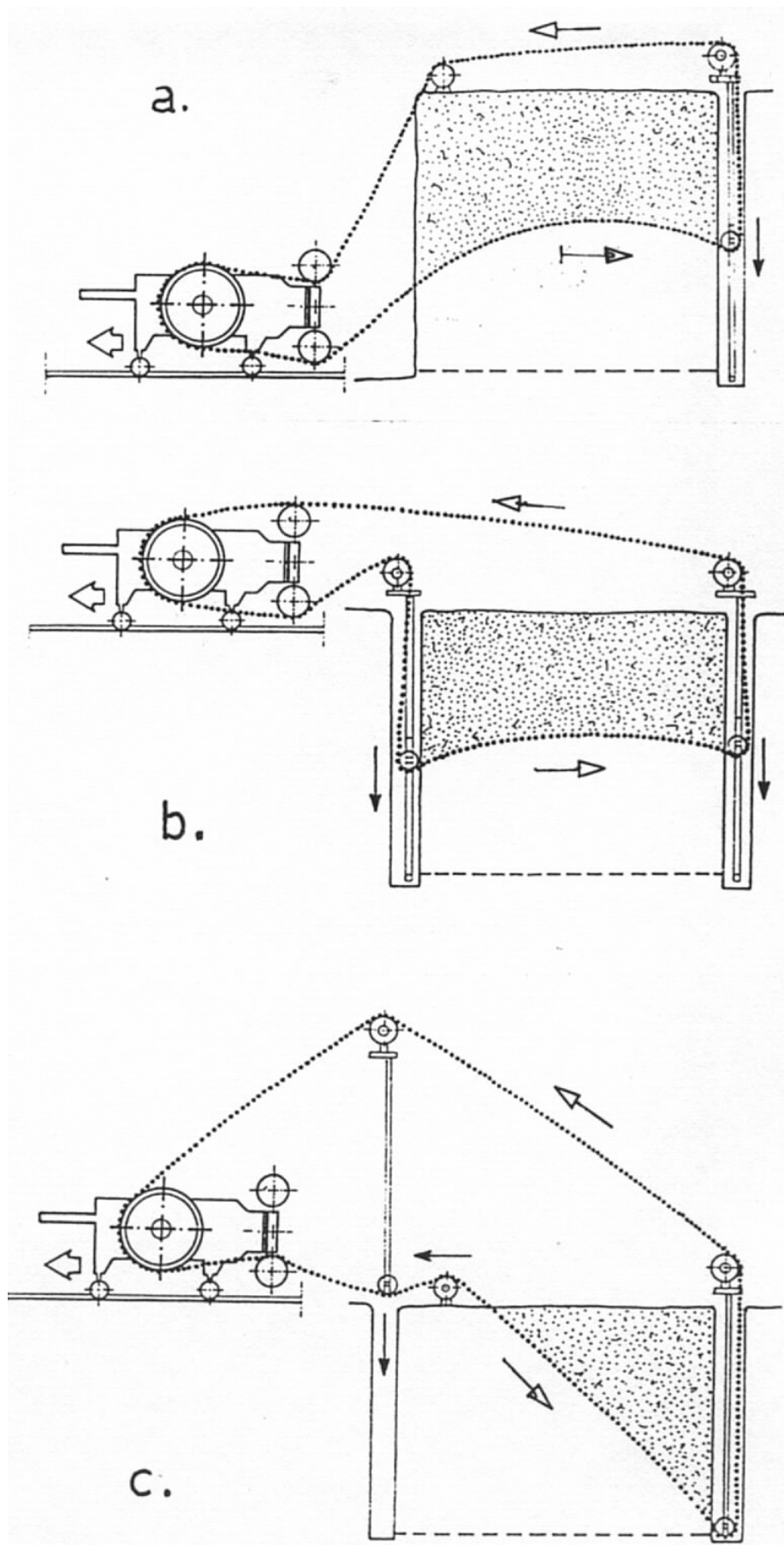
Slika 15.5. - Piljenje vertikalnog reza dijamantnom žičnom pilom



Slika 15.6. - Načini piljenja pri zatvaranju dijamantne žice u petlju (omču)



Slika 15.7. - Korištenjem pomoćnih kola pri postavljanju pile na etažu koja se pili



Slika 15.8. - Način zatvaranja dijamantne žice obrnutim slijedom



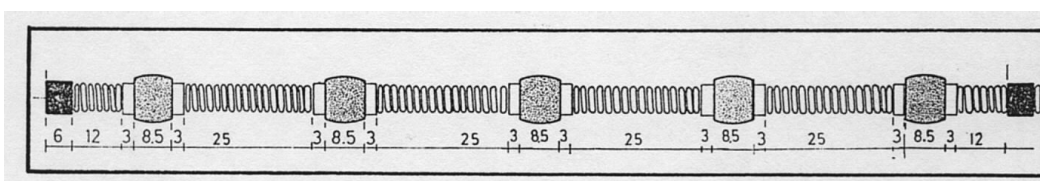
Slika 15.9. - Piljenje kosog reza dijamantnom žičnom pilom



Slika 15.10. - Vrste dijamantne žice: za piljenje karbonatnih stijena - galvanske perle (gore); za piljenje karbonatnih stijena - sintetizirane perle (u sredini); za piljenje silikatnog kamena (dolje) - žica obložena plastikom zbog zaštite čeličnog užeta od prebrzog habanja



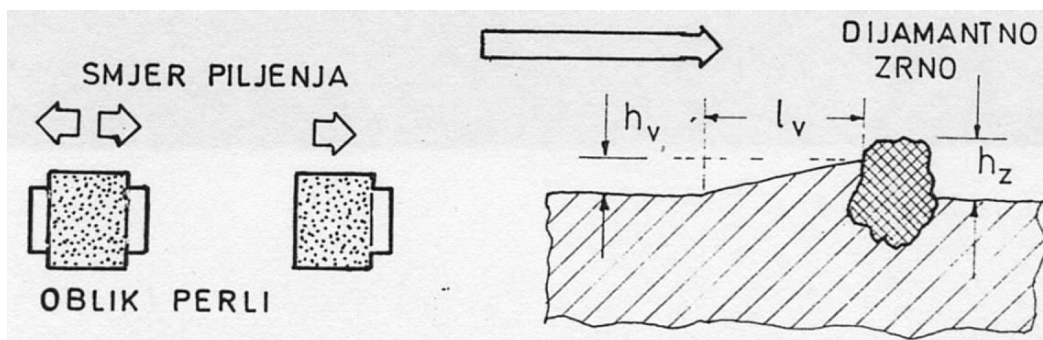
Slika 15.11. - Elementi od kojih se formira dijamantna žica njihovim nanizavanjem na čelično užje: dijamantne perle (galvanske i sintetizirane); razdjelne opruge; zaštitni prstenovi; blokirni osigurači; spojnice (cjevaste i spojnice s muško-ženskim navojem)



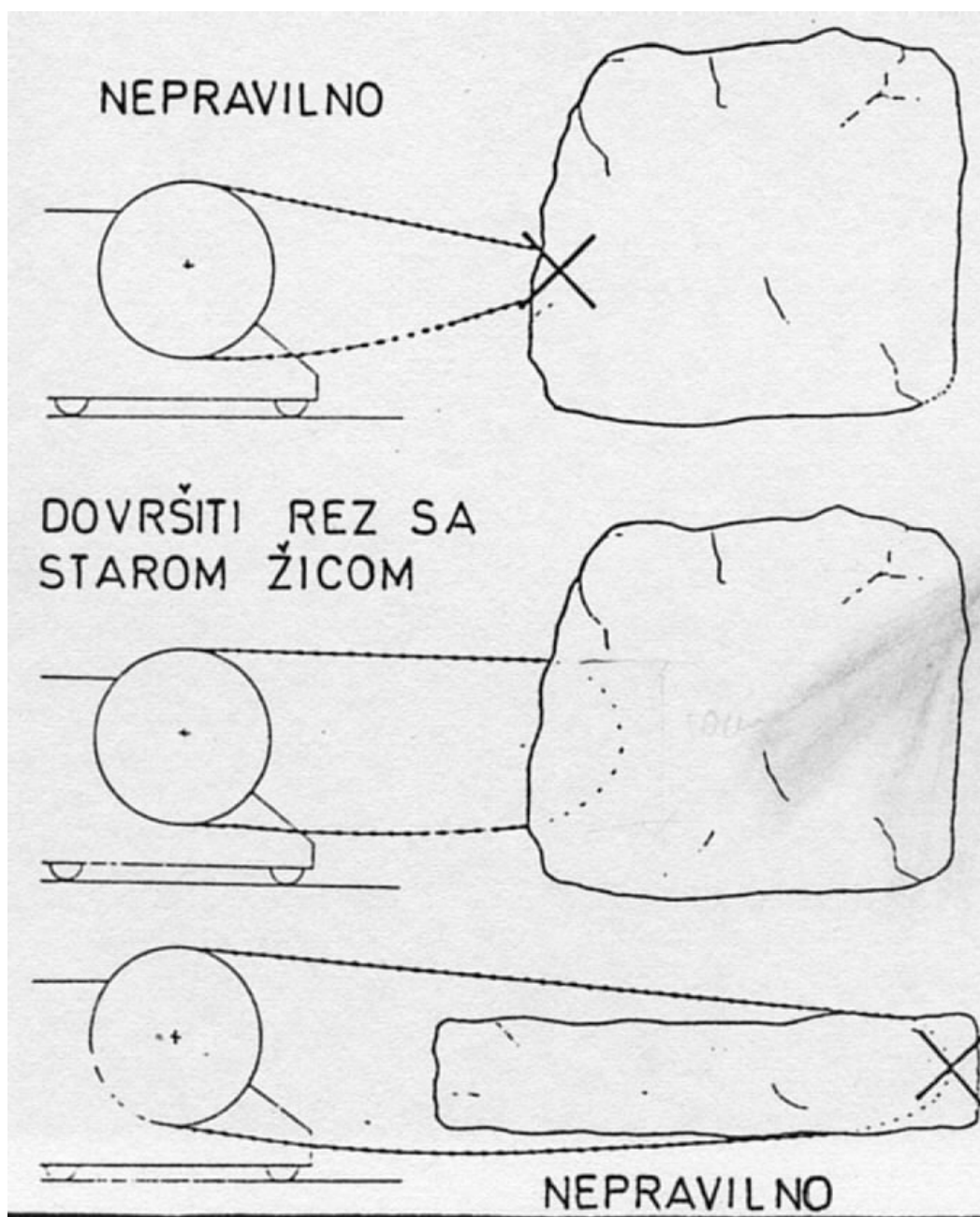
Slika 15.12. - Iskustveno utvrđena često korištena konstrukcija dijamantne žice



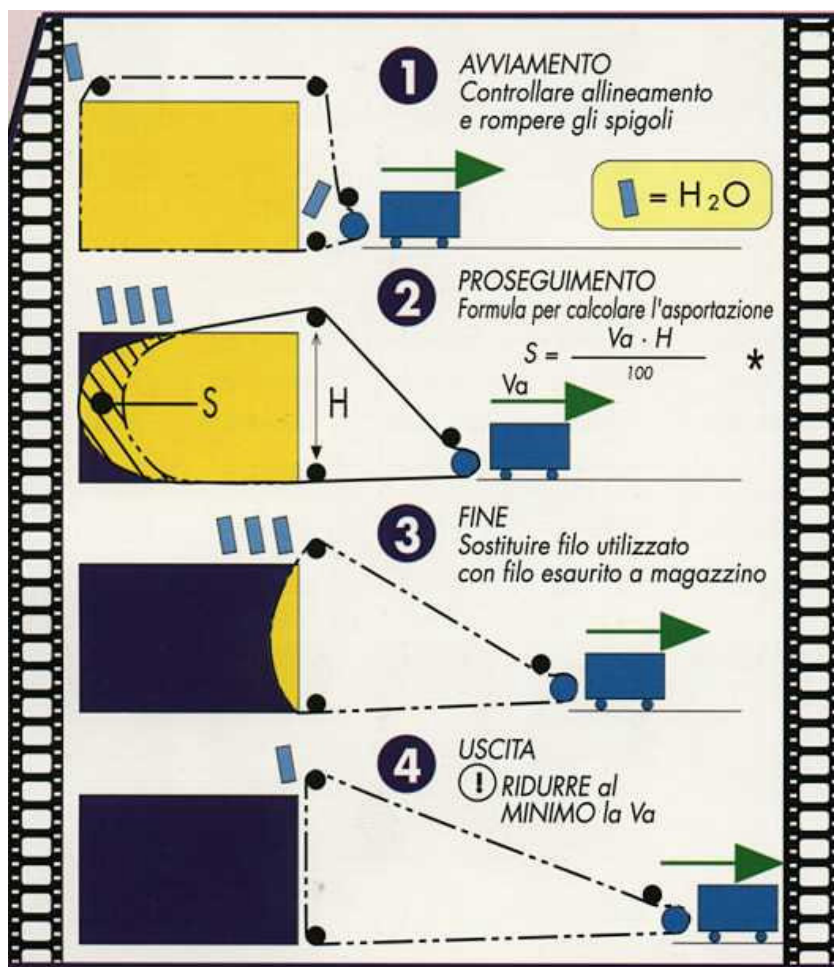
Slika 15.13. - Pribor za formiranje dijamantne žice: kliješta (gore lijevo); ručna hidraulična presa (gore desno); montažni stol (dolje)



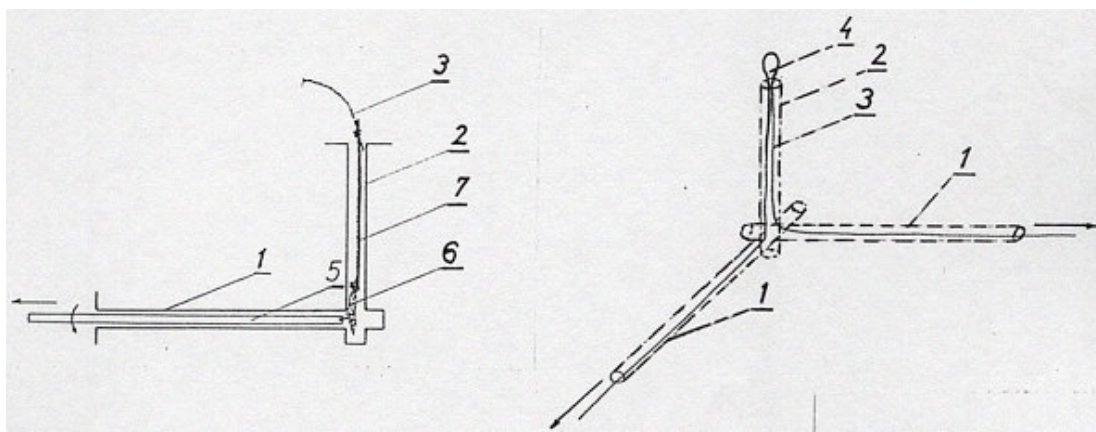
Slika 15.14. - Smjer piljenja dijamantnog zrna



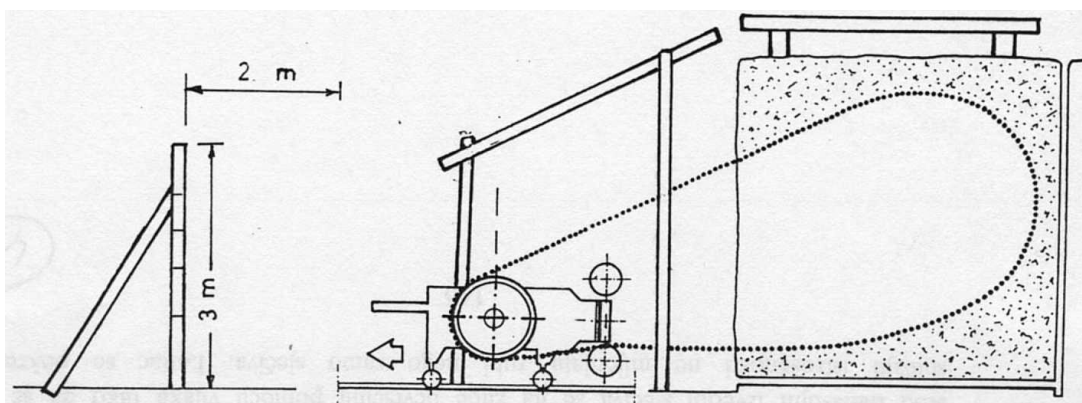
Slika 15.15. - Pravilno korištenje dijamantne žice



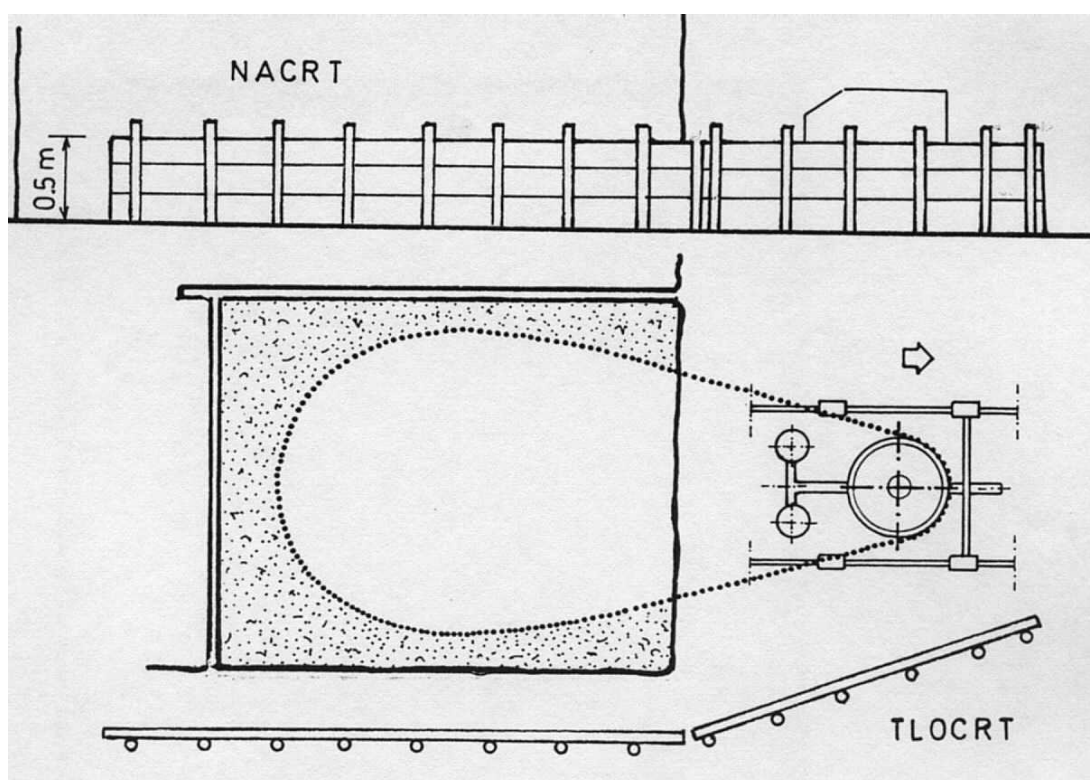
Slika 15.16. - Mjesto dotoka vode na rez ovisno o napredovanju piljenja



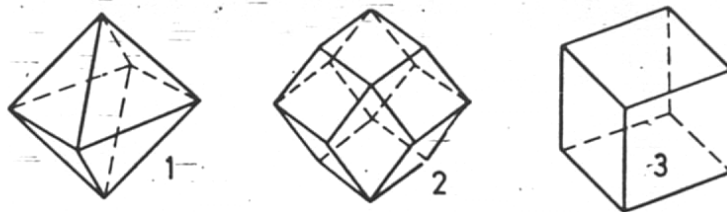
Slika 15.17. - Provlačenje dijamantne žice a) vertikalni rez, b) horizontalni rez, 1 - horizontalna bušotina, 2 - vertikalna bušotina, 3 - dijamantna žica, 4 - omča vezana koncem, 5 - cijev s kukom, 6 - pamučnjak, 7 - konopac



Slika 15.18. - Zaštitna ograda pri piljenju vertikalnog reza

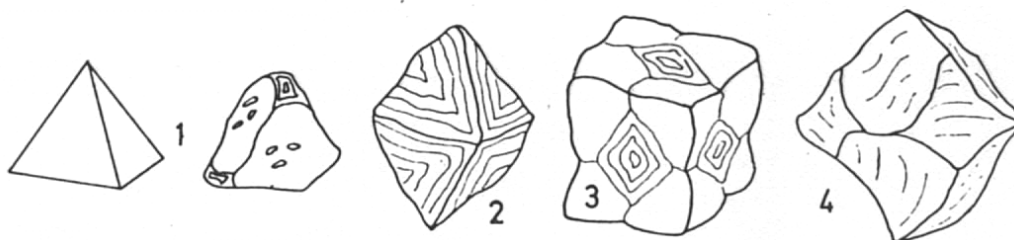


Slika 15.19. - Zaštitna ograda pri piljenju horizontalnog reza



a.) IDEALNI OBLICI KRISTALA DIJAMANATA

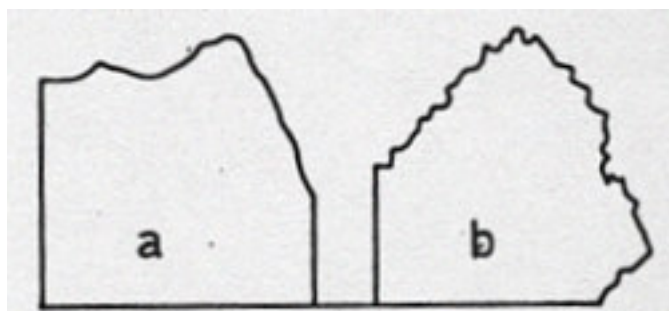
1. - oktaedar, 2. dodekaedar, 3. heksaedar



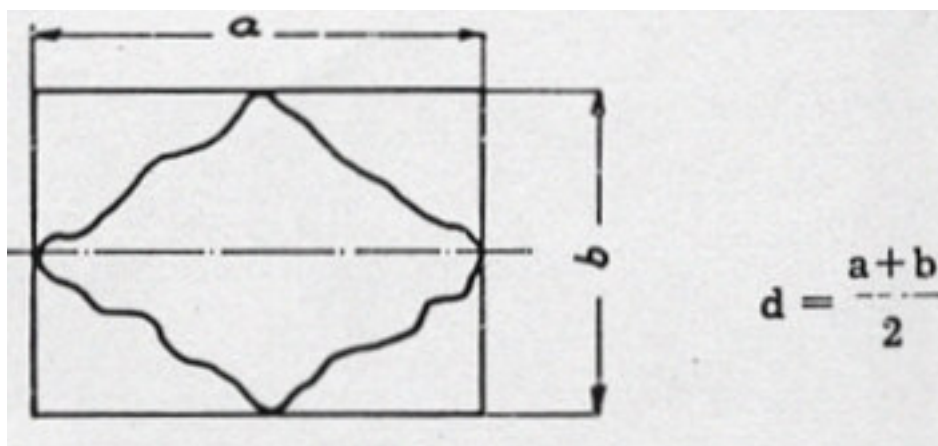
b.) OSTALI OBLICI KRISTALA DIJAMANATA

1. - tetraedar, deformirani tetraedar; 2. - deformirani oktaedar; 3. - kocka s udubljenim stranama; 4. - dodekaedar s nagriženim površinama.

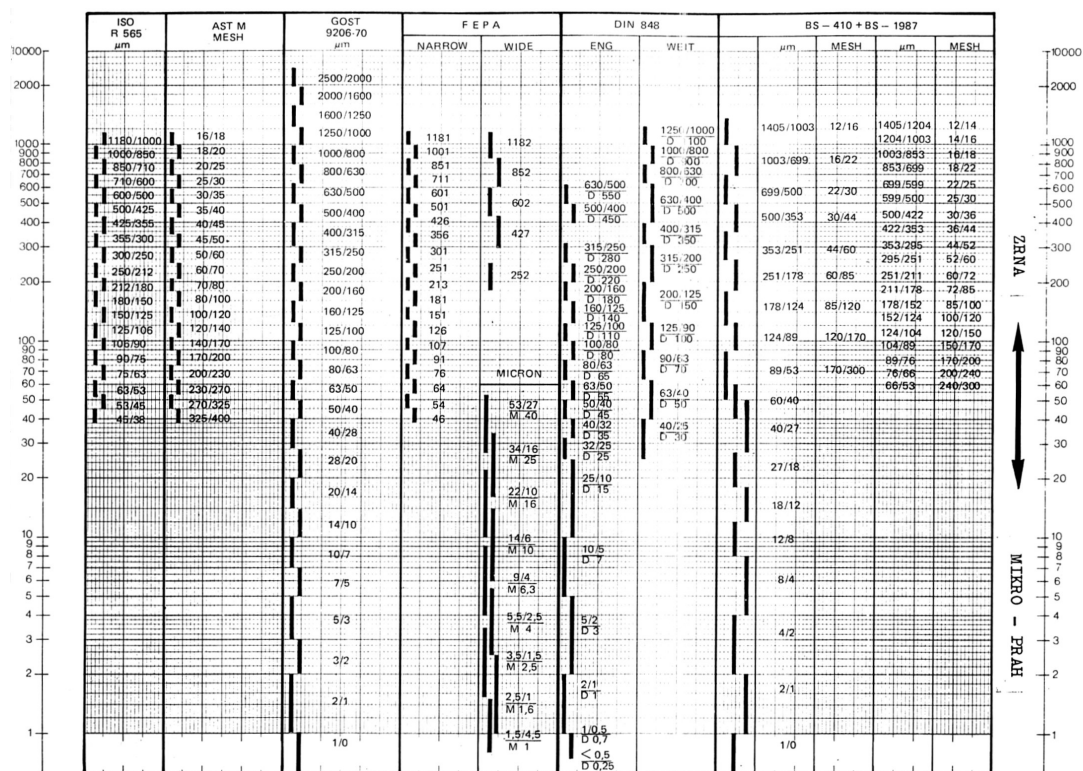
Slika 15.20. - Različiti oblici kristala dijamanta



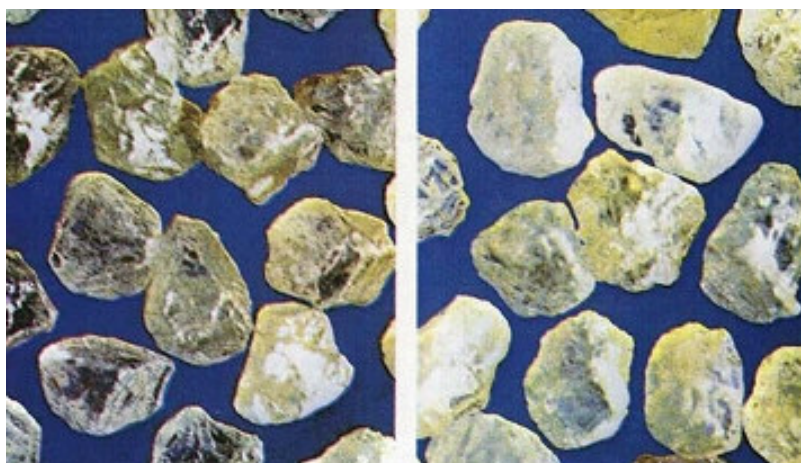
Slika 15.21. - Usporedba zrna prirodnog (a) i sintetičkog (b) dijamanta



Slika 15.22. - Određivanje veličine dijamantnog zrna



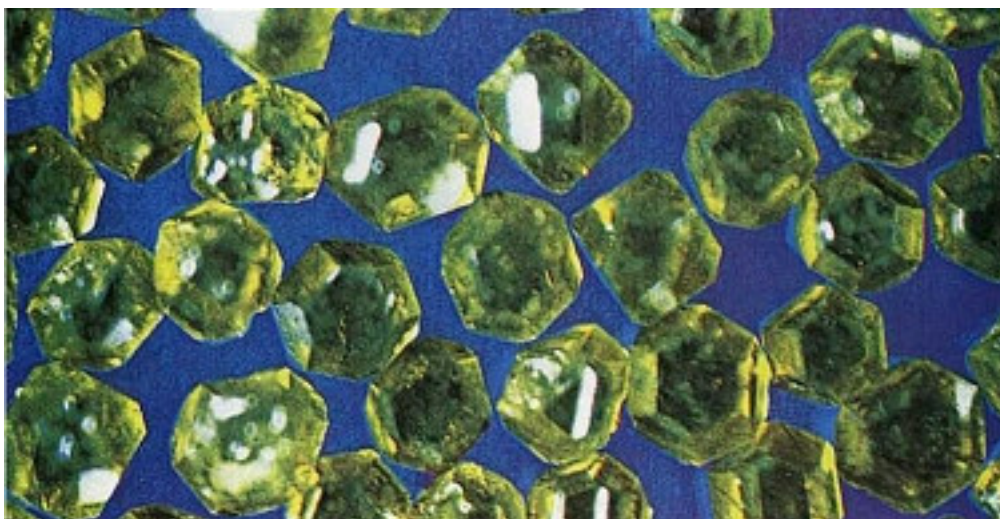
Slika 15.23. - Usporedba različitih normi za granulaciju dijamanta



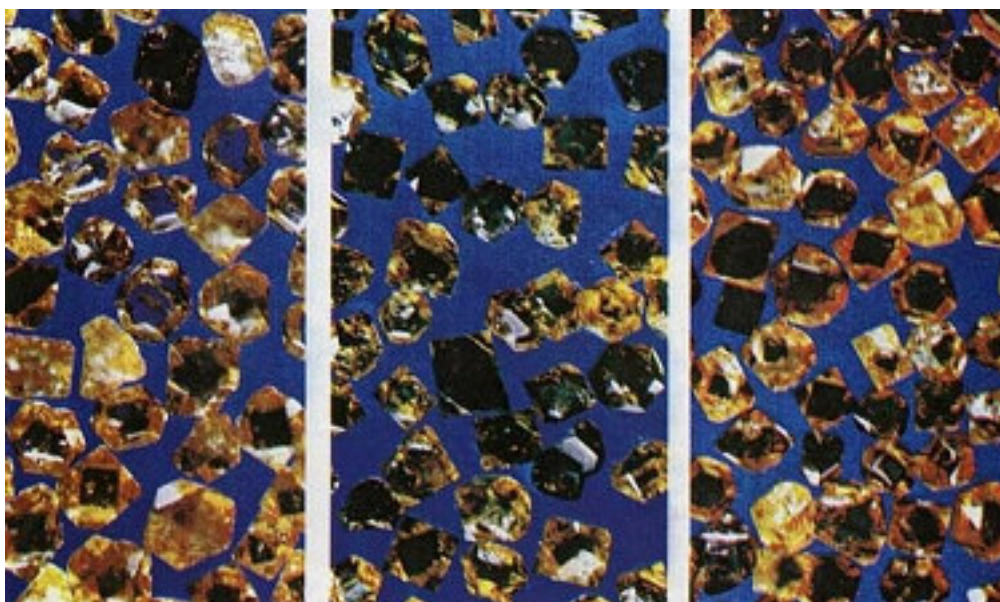
Slika 15.24. - Prirodni dijamanti EMB i EMB-S



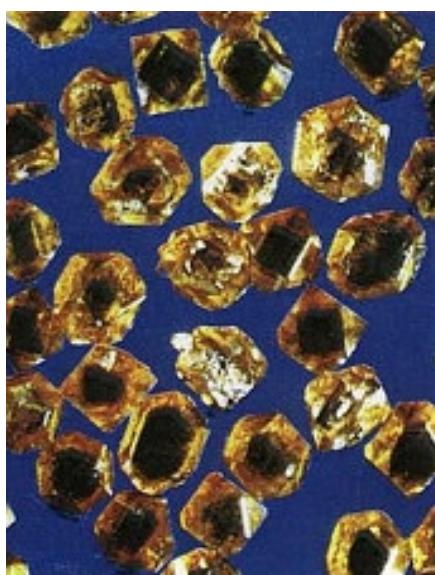
Slika 15.25. - Prirodni dijamanti DEBDUST



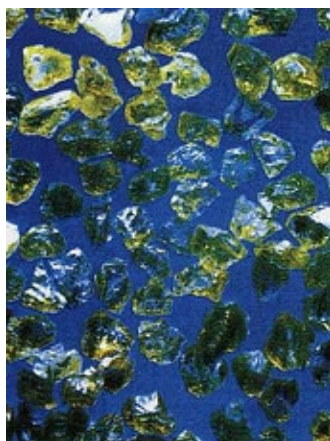
Slika 15.26. - Sintetički dijamanti SDA 100-S



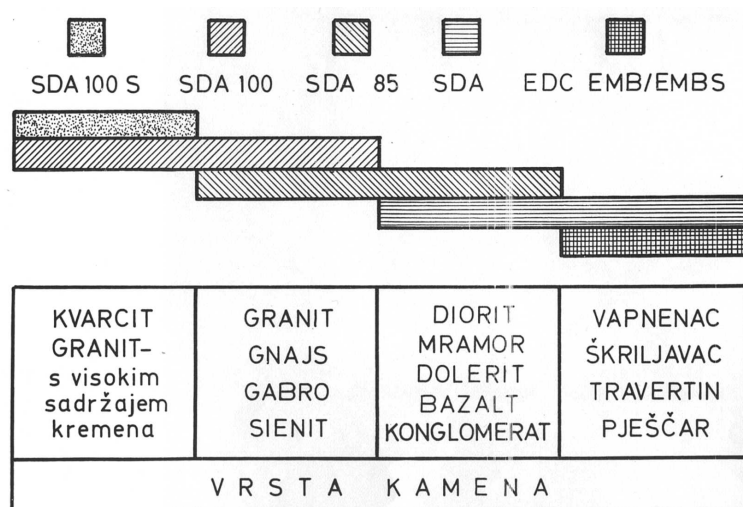
Slika 15.27. - Sintetički dijamanti SDA, SDA 85 i SDA 100



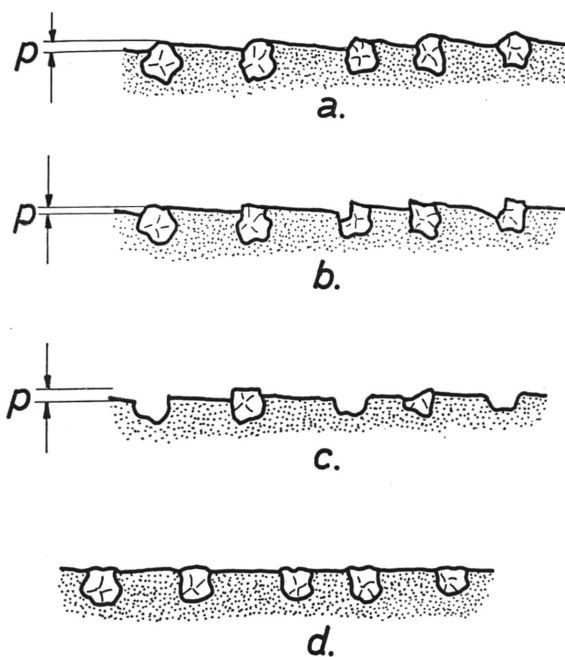
Slika 15.28. - Sintetički dijamanti MDAS



Slika 15.29. - Sintetički dijamanti EDC



Slika 15.30. - Općenita preporuka za izbor marke dijamanta pri piljenju raznih vrsta kamena (De Beers)



Slika 15.31. - Utjecaj različitih vrsta veziva na radnu površinu dijamantnog sloja