

# Alati za glodanje

---

Ćakić, Zoran

Undergraduate thesis / Završni rad

2016

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Karlovac University of Applied Sciences / Veleučilište u Karlovcu**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:128:789822>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-12**



**VELEUČILIŠTE U KARLOVCU**  
Karlovac University of Applied Sciences

Repository / Repozitorij:

[Repository of Karlovac University of Applied Sciences - Institutional Repository](#)



zir.nsk.hr



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

VELEUČILIŠTE U KARLOVCU  
STROJARSKI ODJEL  
STRUČNI STUDIJ STROJARSTVA

Zoran Ćakić  
**ALATI ZA GLODANJE**  
ZAVRŠNI RAD

Karlovac, 2016.

VELEUČILIŠTE U KARLOVCU  
STROJARSKI ODJEL  
STRUČNI STUDIJ STROJARSTVA

Zoran Ćakić  
**ALATI ZA GLODANJE**  
**MILLING TOOLS**  
ZAVRŠNI RAD

**Mentor: Nenad Lorković, dipl. ing. pred.**

Karlovac, 2016



**VELEUČILIŠTE U KARLOVCU**  
**KARLOVAC UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES**  
Trg J.J.Strossmayera 9  
HR-47000, Karlovac, Croatia  
Tel. +385 - (0)47 - 843 - 510  
Fax. +385 - (0)47 - 843 - 579



## **VELEUČILIŠTE U KARLOVCU**

**Stručni / specijalistički studij:** Strojarstva  
(označiti)

Usmjerenje: Proizvodno strojarstvo

Karlovac, 02.06.2016.

### **ZADATAK ZAVRŠNOG RADA**

Student: **Zoran Čakić**

Matični broj: **0110612032**

Naslov:

**ALATI ZA GLODANJE**

Opis zadatka:

U uvodnom dijelu potrebno je ukratko opisati jedan od najzastupljenijih postupaka obrade odvajanja čestica, a to je glodanje.

U općem dijelu opisati vrste glodanja, a u daljnjoj razradi alate za glodanje, što je ujedno i tema ovog Završnog rada. Tu nailazimo na razne podijele glodala počevši od načina stezanja, načina izvedbe pa sve do materijala rezne oštrice glodala.

U zaključaku naglasiti važnosti alata za glodanje uslijed nastavka svijetske modernizacije, s ciljem povećanja produktivnosti te točnosti obrade.

Zadatak izraditi I opremiti sukladno Pravilniku o završnom radu VUK-a.

Zadatak zadan:

Rok predaje rada:

Predviđeni datum obrane:

02.06.2016.

03.10.2016.

14.10.2016.

Mentor:

Predsjednik Ispitnog povjerenstva:

Nenad Lorković, dipl.ing. pred.

## **IZJAVA**

Izjavljujem da sam završni rad na temu ALATI ZA GLODANJE izradio samostalno koristeći navedenu literaturu i znanje koje sam stekao tijekom studiranja na Veleučilištu u Karlovcu

Također se zahvaljujem mentoru Nenadu Lorkoviću, dipl.ing. na utrošenom vremenu, trudu, te korisnim savjetima.

U Karlovcu, 14.09.2016.

Zoran Ćakić

## SAŽETAK

U uvodnom dijelu ovog Završnog rada ukratko je opisan jedan od najzastupljenijih postupaka obrade odvajanja čestica, a to je glodanje.

Daljnjom razradom glodanja dolazimo i do dijela o samom alatu za glodanje, što je ujedno i tema ovog Završnog rada. Tu nailazimo na razne podijele glodala počevši od načina stezanja, načina izvedbe pa sve do materijala rezne oštrice glodala.

Zaključak ove teme govori o važnosti alata za glodanje uslijed nastavka svjetske modernizacije, s ciljem povećanja produktivnosti te točnosti obrade.

## SUMMARY

In the preamble of this thesis, it is shortly described one of the most represented operation for metal cutting, which is milling.

In elaboration about milling, it is written about milling cutter which is at the same time subject matter of this thesis. Further, there are specified various divisions of milling cutter, beginning with clamping methods, performances and materials used in manufacturing the blade for milling cutter.

In the conclusion of these thesis, it is written about importance of milling cutter due to world modernization of industry, aiming to increase productivity and precision of production.

## SADRŽAJ

IZJAVA.....	I
SAŽETAK.....	II
SADRŽAJ .....	III
POPIS SLIKA .....	IV
POPIS TABLICA.....	V
POPIS OZNAKA .....	VI
1. UVOD.....	1
2. GLODANJE .....	2
2.1. Vrste glodanja.....	3
2.1.1. Obodno glodanje .....	4
2.1.2. Čeono glodanje.....	5
3. GLODALA.....	6
3.1. Podjela glodala prema načinu stezanja.....	7
3.1.1. Glodala s provrtom.....	8
3.1.2. Glodala s drškom.....	8
3.2. Podjela glodala prema načinu izvedbe .....	9
3.3. Podjela glodala prema materijalu rezne oštrice.....	10
3.3.1. Brzorezni čelici .....	13
3.3.2. Tvrdi metal .....	15
3.3.3. Cermet .....	18
3.3.4. Rezna keramika .....	19
3.3.5. Polikristalni dijamant (PDC).....	21
3.3.6. Kubični bor nitrid (CBN) .....	22
3.3.7. Svojstva i primjena CBN-a i PCD-a .....	23
4. PARAMETRI OBRADJE .....	24
4.1. Dubina rezanja.....	25
4.3. Brzina rezanja.....	26
5. STROJEVI ZA GLODANJE .....	27
5.1. Podjela glodalica .....	27
6. ZAKLJUČAK .....	34
7. LITERATURA.....	35

**POPIS SLIKA**

Slika 1.	Odvajanje strugotine djelovanjem klina.....	2
Slika 2.	Glodanje .....	3
Slika 3.	Obodno glodanje .....	3
Slika 4.	Čeono glodanje.....	4
Slika 5.	Istosmjerno glodanje .....	5
Slika 6.	Protusmjerno glodanje.....	5
Slika 7.	Čeono glodanje.....	6
Slika 8.	Elementi glodala.....	7
Slika 9.	Stezanje glodala.....	8
Slika 10.	Glodala izvedena iz jednog materijala .....	9
Slika 11.	Glodala s lemljenim pločicama .....	9
Slika 12.	Glodalo s izmjenjivim pločicama.....	10
Slika 13.	Usporedba svojstava različitih materijala reznih alata .....	12
Slika 14.	Mikrostruktura čelika proizvedenog metalurgijom praha .....	15
Slika 15.	Glodalo od brzoreznog čelika (lijevo) i HSS pločica (desno).....	15
Slika 16.	Mikrostruktura tvrdog metala.....	17
Slika 17.	Glodalo od tvrdog metala .....	18
Slika 18.	Mikrostruktura cermeta za grubu obradu .....	19
Slika 19.	Rezne pločice od cermeta.....	19
Slika 20.	Različiti oblici keramičkih reznih pločica .....	21
Slika 21.	Mikrostruktura PCD-a .....	22
Slika 22.	Mikrostruktura CBN-a .....	23
Slika 23.	CBN rezna pločica.....	24
Slika 24.	Brzina rezanja kod protusmjernog i istosmjernog glodanja .....	27
Slika 25.	Horizontalna glodalica .....	28
Slika 26.	Vertikalna glodalica .....	28
Slika 27.	Univerzalna glodalica.....	29
Slika 28.	Kopirna glodalica .....	30
Slika 29.	Prvi numerički upravljani stroj.....	30
Slika 30.	Prvi numerički upravljani stroj u Hrvatskoj .....	31
Slika 31.	Razlika u upravljanju klasičnog i CNC stroja .....	32
Slika 32.	Veliki obradni centar .....	33
Slika 33.	Mali obradni centar .....	33



## POPIS TABLICA

Tablica 1. Fizikalna svojstva reznih materijala.....13

## POPIS OZNAKA

Oznaka	Jedinica	Opis
N		Klasa hrapavosti
$R_z$	$\mu\text{m}$	Aritmetičko odstupanje profila
$v_c$	m/min	Brzina rezanja
f	mm/okr	Posmak
$R_e$	$\text{N}/\text{mm}^2$	Granica razvlačenja
Cr		Krom
Co		Kobalt
W		Volfram
V		Vanadij
Mo		Molibden
Ni		Nikal
HRC	HRC	Tvrdoća po Rockwellu
PVD		Postupak fizikalnog prevlačenja u parnoj fazi
TiC		Titan karbid
TaC		Tantal karbid
SAD		Sjedinjene Američke Države
MIT		Massachusetts Institute of Technology
NC		Numeričko upravljanje
CNC		Computer Numerical Control
CAD		Računalno potpomognuti dizajn
CAM		Računalno potpomognuta proizvodnja
BCBN		Kubični bor nitrid bez veziva
FCC		Plošno centrirana kubna rešetka
$\varphi$	rad	Kut zahvata glodala

## 1. UVOD

Pojavom nagle svjetske modernizacije nametnula se velika potražnja za novim proizvodima. Dakle, potrebno je proizvoditi veliki broj proizvoda, što brže, kvalitetnije, a opet što jeftinije. Prema tim zahtjevima razvila se masovna proizvodnja. Umjesto da svatko sam sebi izrađuje dijelove, na tržištu se mogu pronaći isti dijelovi uz mnogo manje izgubljenog vremena i uloženog novca. U svrhu poboljšanja produktivnosti, uslijed masovne proizvodnje razvila se strojna obrada.

Strojna obrada je obrada alatnim strojem, koja se u osnovi može podijeliti na strojnu obradu sa odvajanjem čestica i na strojnu obradu bez odvajanja čestica. Strojna obrada odvajanjem čestica obavlja se na alatnom stroju s unaprijed određenim alatima, kako bi se dobio proizvod zadovoljavajuće kvalitete, a u što kraćem vremenu. Alatni stroj je stroj na kojem čovjek u određenom proizvodnom procesu upravlja alatom. Osnovni zadatak alatnih strojeva je da uz zamjenu ljudskog rada poveća ekonomičnost, točnost, produktivnost i drugo. U današnje vrijeme proizvodnja bez alatnih strojeva je nezamisliva. Korištenje ručnih alata i ručna obrada je prespor i skup proces, a serijska ili masovna proizvodnja se ne izvediva je bez alatnih strojeva.

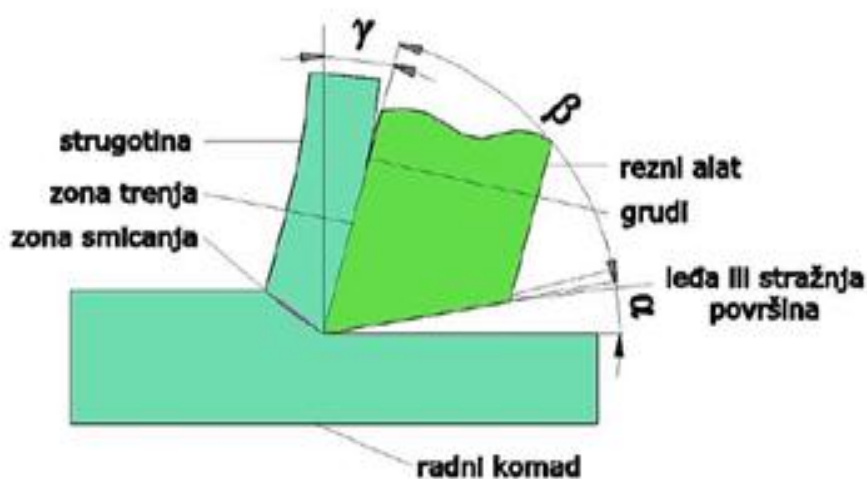
Alatni stroj sastoji se od nekoliko cjelina bez kojih ne može raditi, a to su: pogonski dio koji je najčešće kavezni asinkroni trofazni motor, prijenosnici snage kao što su prigrioni, reduktori, multiplikatori, izvršni dio, odnosno različiti alati i naprave, te upravljački dio koji služi za upravljanje gibanjima alata i obratka, te odabiranje parametara obrade.

Strojna obrada sa odvajanjem čestica dijeli se na nekoliko načina, a to su:

- postupci obrade definiranom geometrijom: to su tokarenje, glodanje, blanjanje, bušenje, provlačenje, piljenje, te ozublivanje
- obrada bez definirane oštrice alata: brušenje
- obrada slobodnom oštricom: honanje, lepanje, poliranje, superfiniš
- obrada bez oštrice: ultrazvučna obrada, obrada plazmom, elektroerozija, obrada laserom.

Obrada odvajanjem čestica na alatnim strojevima s definiranom geometrijom alata je najčešća u proizvodnji. Ona se primjenjuje kod najvećeg broja obrada.

Osnovni oblik reznog alata je klin. Njegova je zadaća razdvajanje materijala i odvajanje čestica materijala, kao što prikazuje slika 1.



Slika 1. Odvajanje strugotine djelovanjem klina

Definirana geometrija alata predstavlja takvu obradu noževima, kod kojih se mogu mjeriti i mijenjati kutevi obrade i kutevi namještanja alata. A to su obrade: tokarskim noževima, glodalima, svrdlima, noževima za blanjanje ili dubljenje, razvrtalima, pilama, upuštalima, iglama ili motkama za provlačenje.

## 2. GLODANJE

Glodanje je postupak obrade koji se obavlja sastavljenim alatima, a to su alati s više jednakih oštrica, odnosno glodala, sa kojima se skida strugotina, koje prikazuje slika 2. Prilikom obrade, oštrice glodala nikada nisu sve istodobno u zahvatu, već njihov manji dio. Glodanje zbog većeg broja oštrica i promjenjivog presjeka strugotine dok jedan zub izvodi obradu, spada u složeniju operaciju od većine drugih, kao što su tokarenje, brušenje i slično.

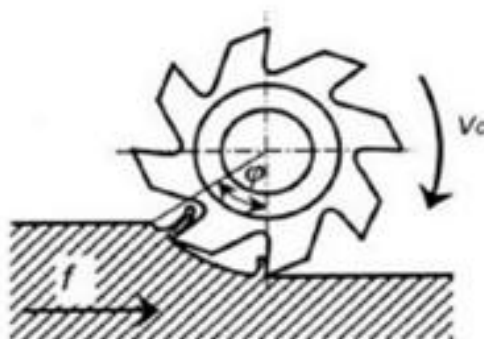


Slika 2. Glodanje

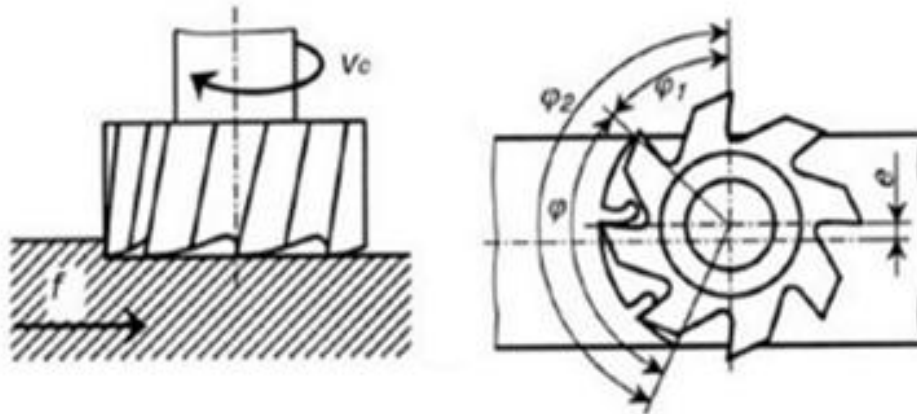
Glodanje je najrasprostranjeniji način obrade metala jer se tim postupkom mogu na razne načine točno obraditi i ravne i oble površine, navoji, te zubni i vijčani profili. Glodanjem se postiže visoka proizvodnost strojne obrade, te široka iskoristivost u serijskoj i masovnoj proizvodnji. Osnovna karakteristika ovog postupka je da zubi glodala dolaze u dodir sa predmetom jedan za drugim, a opterećenje svakog zuba za vrijeme rada, od trenutka početka rezanja do trenutka izlaska zuba iz materijala, jako se mijenja. Alatni stroj na kojem se izvodi operacija naziva se glodalica pri čemu glavno gibanje uvijek izvodi alat, a posmično gibanje i dostavno gibanje izvodi radni stol. Kod novijih strojeva alat često izvodi dostavno gibanje, a ponekad izvršava čak i posmično gibanje. Prilikom obrade se postižu klase hrapavosti od N5 do N12, odnosno srednje aritmetičko odstupanje profila Rz od 0,4 do 50 $\mu$ m.

## 2.1. Vrste glodanja

Prema dijelu glodala kojim se obrađuju operacije glodanja dijele se na obodno glodanje koje prikazuje Slika 3., te čeonno glodanje koje prikazuje slika 4.



Slika 3. Obodno glodanje



Slika 4. Čeono glodanje

### 2.1.1. Obodno glodanje

Kod obodnog glodanja materijal se obrađuje obodom glodala. Primjenjuje se kod obrada ravnih i zakrivljenih ploha. Istovremeno je u zahvatu vrlo malo zuba, obično jedan ili dva pri čemu se javljaju veća naprezanja i vibracije, a samim time se dobiva nekvalitetnija površina.

Obodno glodanje dijeli se na plošno glodanje i kružno glodanje. Obodno plošno glodanje se nadalje dijeli na istosmjerno i protusmjerno glodanje. Obodno kružno glodanje se dijeli na vanjsko i unutrašnje glodanje.

Obodno plošno glodanje se primjenjuje kada se skidanje strugotine obavlja obodom valjčastih i pločastih glodala. Taj se postupak dijeli na istosmjerno i protusmjerno glodanje, koje prikazuju slika 5. i slika 6.

Kod istosmjernog plošnog glodanja obodna brzina glodanja i brzina posmaka imaju isti smjer. Oštrica odmah zahvaća najveći presjek strugotine, čime uzrokuje naglu promjenu naprezanja, što nije povoljno za trajnost alata.

Kod protusmjernog plošnog glodanja, glodalo se okreće u takvom smjeru da je njegova obodna brzina suprotna brzini posmaka predmeta. Zubi glodala postepeno zahvaćaju sve veći presjek strugotine da bi presjek bio najveći na izlazu. To nije preporučljivo jer zubi prije dolaska u zahvat klize po obrađenoj površini i ostavljaju valovite tragove, ali je povoljno za obradu tvrdih metala zbog naprezanja.



Slika 5. Istosmjerno glodanje



Slika 6. Protusmjerno glodanje

Obodno kružno glodanje u svojim varijantama vanjskog, unutarnjeg i obilaznog glodanja spada u noviji oblik tog postupka. Ti se postupci sve više primjenjuju zbog posebne prednosti u stanovitim slučajevima. Kod obodnog kružnog glodanja skidanje čestica se izvodi obodom glodala, koji vrši glavno gibanje, a posmak je kružni.

### 2.1.2. Čeono glodanje

Kod čeonog glodanja materijal se obrađuje sa čeonom stranom glodala, što prikazuje slika 7. Ovom vrstom glodanja mogu se obrađivati ravne i zakrivljene površine, utori, konusi i slično. Zbog svoje široke primjenjivosti vrlo često se upotrebljava u proizvodnji. Kod ove vrste glodanja manja je sila rezanja, manji je presjek strugotine, i manje su vibracije iz razloga što više zubaca istovremeno vrše obradu.



Slika 7. Čeono glodanje

Prema proizvedenoj kvaliteti obrađene površine dijela se na: grubo, fino te završno. Kvaliteta površine ovisi o posmaku. Kod grubog glodanja posmak je od 100 do 500 mm/min, dok je kod finog glodanja posmak od 10 do 50 mm/min, a kod završnog glodanja posmak je još i manji

### 3. GLODALA

Alati za postupak obrade glodanjem su glodala koja su u obliku valjaka ili drugih okruglih ploča. Na obodu se nalaze pravilno raspoređeni zubi, a svaki zub u osnovi predstavlja tokarski nož. Glodalo ima definiranu geometriju reznog dijela i sastoji se od više glavnih reznih oštrica. Oštrice se nalaze na zubima glodala, a mogu biti smještene ili na obodnoj i čeonoj plohi glodala ili na obodnoj plohi glodala, što je rjeđi slučaj.

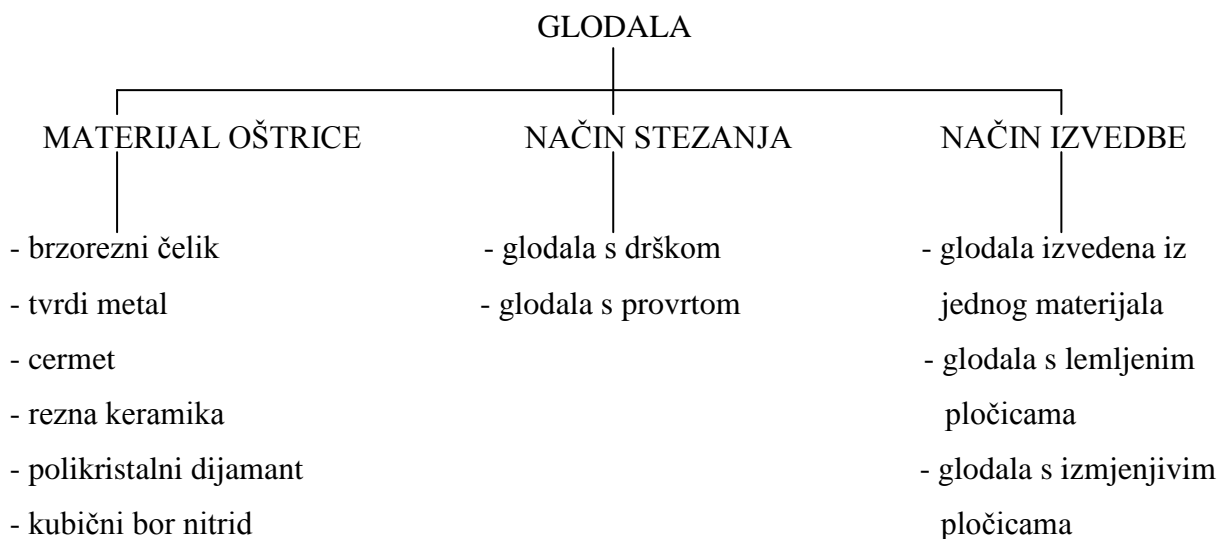
Slika 8. prikazuje osnovne elemente glodala, a to su: radni dio koji posjeduje zube na kojima se nalaze oštrice, stezni dio koji je predviđen za stezanje glodala, te vrat koji je spojni dio radnog i steznog dijela.





Slika 8. Elementi glodala

Glodala se sistematizacijom mogu podijeliti u 3 skupine, a to su: prema na materijalu oštrice, prema načinu stezanja, te prema načinu izvedbe, kao što je niže navedeno.



### 3.1. Podjela glodala prema načinu stezanja

S obzirom na način stezanja glodala se dijele na glodala s provrtom te glodala s drškom.

### 3.1.1. Glodala s provrtom

Na svim strojevima gdje se alat mora učvršćivati direktno na vratilo stroja koriste se glodala s provrtom. Slika 9. prikazuje različite načine stezanja. Za stezanje glodala često se koriste hidro prihvat radi postizanja veće točnosti. Hidro prihvat se najčešće koriste kod montiranja glodala od kojih se zahtjeva visoka preciznost. Montiranje glodala se izvodi tako da se prvo glodala vijcima mehanički učvrste na hidro prihvat, a nakon toga se hidro prihvat montira na vratilo stroja i stegne. Stezanje se može izvesti na dva načina, može biti mehaničko vijkom i pomoću pumpe. Također postoje i hidraulički prihvat. Oni mogu stezati i vratilo i alat ili samo vratilo.



Slika 9. Stezanje glodala

### 3.1.2. Glodala s drškom

Glodala s drškom se uglavnom primjenjuju kod ručnih glodalica i nadstolnih glodalica. One mogu biti klasične i numerički upravljane.

Najčešći oblici drške su:

1. cilindrična drška
2. konusna drška

1. Glodala sa cilindričnom drškom mogu se stezati na tri načina, a to su:

- pomoću elastičnih čahura
- vijcima
- hidro prihvatima

2. Glodala s konusnom drškom mogu biti s:

- morseovim konusom
- ISO konusom (SK)
- HSK

### 3.2. Podjela glodala prema načinu izvedbe

S obzirom na način izvedbe glodala se dijele na: glodala koja su cijela izvedena iz jednog materijala, glodala s lemljenim pločicama, te glodala s izmjenjivim pločicama.

Slika 10. prikazuje glodala koja su izvedena iz jednog komada. To su jednodijelni alati bez povezanih ili odvojivih dijelova. Tijelo i oštrica glodala izrađene su od istog materijala. Najčešći materijali koji se danas primjenjuju u izradi takvih alata su brzorezni čelik i tvrdi metal.



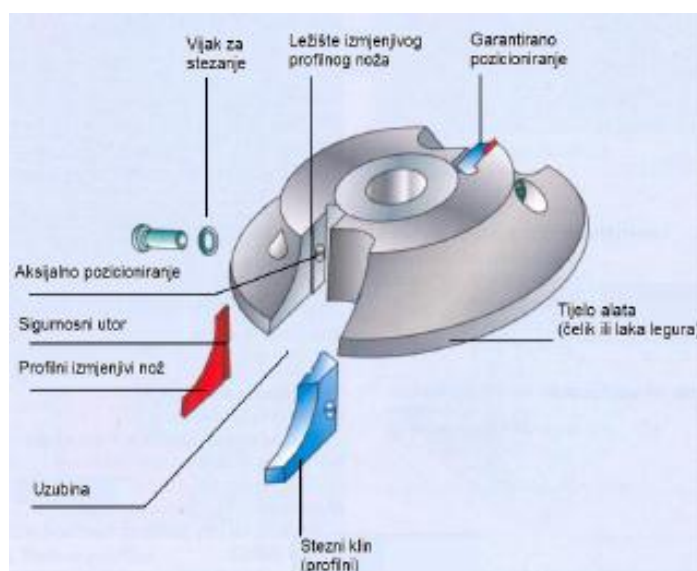
Slika 10. Glodala izvedena iz jednog materijala

Slika 11. Prikazuje glodala s lemljenim pločicama. To su takva glodala čiji se dijelovi za rezanje, odnosno rezne oštrice, lemljenjem spajaju s tijelom alata. I u današnje vrijeme takvi alati imaju široku primjenu. Najčešći materijal koji se koristi za izradu oštrice je brzorezni čelik, tvrdi metal i polikristalni dijamant, a tijelo alata se najčešće izrađuje iz neke vrste čelika za poboljšavanje, kao na primjer C45.



Slika 11. Glodala s lemljenim pločicama

Glodala s izmjenjivim pločicama su takav alat kod kojeg se jedna ili više komponenti rezanja, izmjenjivi nožići, mogu montirati na tijelo tako da se odvojivi dijelovi fiksiraju na tijelo. Slika 12. prikazuje glodalo s izmjenjivim pločicama. Prednost takvog alata je što se nakon izmjene pločice održava konstantan promjer glodala. Time se olakšava i skraćuje vrijeme podešavanja stroja. Moguće je i stavljanje pločica različitih kvaliteta, ovisno o obrađivanom materijalu. Često se koriste noževi različitih kvaliteta izrađenih iz tvrdog metala HW. Još jedna prednost alata s izmjenjivim pločicama je i vijek trajanja oštrice u odnosu na lemljene pločice.



Slika 12. Glodalo s izmjenjivim pločicama

### 3.3. Podjela glodala prema materijalu rezne oštrice

Svaki materijal koji se koristi za izradu alata za obradu odvajanje mora ispuniti određene uvjete. Ti uvjeti su različiti zahtjevi koji se postavljaju prema alatima za obradu odvajanjem čestica. Opća zahtijevana svojstva svih alata, samim time i reznih alata su prvenstveno otpornost na trošenje i udarna izdržljivost, a to su žilavost, te visoki udarni rad loma.

Gore navedena dva osnovna zahtjeva treba smatrati nužnim uvjetima koji su potrebni za rad svakog alata. Prilikom obrade prije svega dolazi do trošenja alata abrazijom. To je djelovanje tvrdih čestica obratka na odnošenje dijelova radne površine ili rezne oštrice alata.

Iako nije uvijek dominantna, ne treba zanemariti i komponentu trošenja adhezijom. Adhezija je navarivanje čestica obrađivanog metala na rezu oštricu ili samu prednju površinu alata. Primjer adhezije je stvaranje takozvane lažne oštrice pri rezanju čelika visokog udjela ferita. Kada se govori o alatnim čelicima potrebno je posebno razjasniti što je to žilavost. Kod alatnih čelika ne vrijedi opća koncepcija prema kojoj je žilavost površina ispod krivulje „naprezanje-deformacija“. U takvom slučaju važno je da je ta, po mogućnosti velika, površina obilježena visokim  $R_e$ , jer se ne želi da dođe do trajne deformacije alata djelovanjem nastalih naprezanja, a niti neposredno prije loma zbog preopterećenja. Što se potpunije ispune navedeni opći zahtjevi, definira se takozvano kompleksno svojstvo radnog kapaciteta alata. Ukoliko se ne mogu potpuno i istovremeno ispuniti oba navedena zahtjeva, trenutno se isključuje mogućnost stvaranja jednog jedinog univerzalnog alatnog čelika.

Uz navedena neophodna svojstva, na alate za obradu odvajanjem čestica postavljaju se još dodatnih zahtjeva, a to su:

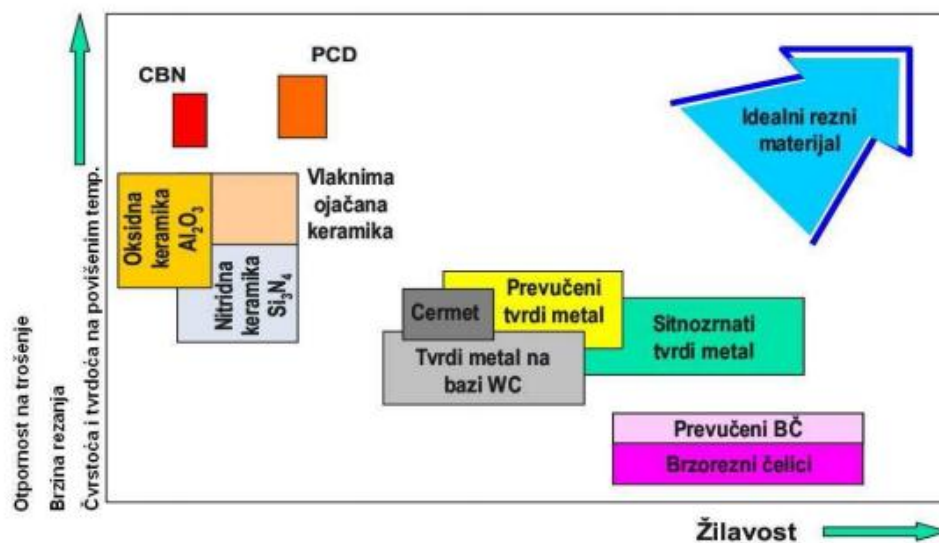
- otpornost na popuštanje
- rezna čvrstoća brida
- unutrašnja stabilnost mikrostrukture
- oksidacijska postojanost
- otpornost prema difuziji

Prilikom razrade optimalnog plana proizvodnje za određeni pripremak, prvi korak je odabir odgovarajućeg materijala za alat koji je namijenjen obradi odvajanjem kod određene operacije. Odabir materijala za alat najčešće uvjetuju materijal priprema koji će se obrađivati i operacije koje će se izvoditi. Često postoji mogućnost izbora za više od jednog materijala za alat, koji bi učinkovito omogućio izradu, ali nije ekonomski isplativ. Kada govorimo o izboru odgovarajućeg alata, sljedeći faktori utječu na taj izbor:

- stupanj opterećenja alata
- zahtjevana produktivnost
- snaga i krutost stroja te broj okretaja
- financijska ograničenja
- troškovi rada i eventualnih zastoja

Sustav „alat-obradak“ je najvažniji čimbenik koji utječe na izbor odgovarajućeg materijala za rezni alat. U daljnjoj razradi navode se materijali koji se najčešće upotrebljavaju pri izradi alata za obradu odvajanjem. Svaki od njih ima prednosti, ograničenja u odnosu na drugoga, stoga se također navode i prednosti, svojstva i ograničenja svake skupine materijala.

Materijali obratka mogu biti različiti. Pa tako mogu biti metalni, nemetalni, željezni, neželjezni i slično. Najčešće se obrađuju željezni materijali, no i takvi materijali se uvelike razlikuju jedan od drugoga što utječe na izbor alata. Jedan od važnih parametara koji se promatra je vlačna čvrstoća. Povećanjem vlačne čvrstoće se automatski povećava i tvrdoća, što utječe na obradivost koja tada postaje zahtjevnija. Na slici 13. prikazan je kvalitativan pregled materijala koji se najčešće upotrebljavaju pri izradi alata za obradu odvajanjem čestica s obzirom na odnos otpornosti na trošenje, čvrstoće te otpornosti na popuštanje, prema žilavosti. Može se zaključiti kako trenutno ne postoji takav materijal koji bi objedinio sva ta potrebna svojstva.



Slika 13. Usporedba svojstava različitih materijala reznih alata

U tablici 1. prikazani su materijali koji se najčešće koriste kod obrade odvajanjem čestica sa svojim fizikalnim svojstvima koja ih karakteriziraju, pri sobnoj temperaturi. Uspoređujući navedene podatke sa prethodnom slikom 13., dobiva se njezin smisao i idjela o idealnom reznom materijalu. Taj idealni rezni materijal objedinjuje svojstva lomne žilavosti i savojne čvrstoće kod brzoreznog čelika i visoku tvrdoću, kao i otpornost na popuštanje koja je karakteristična za keramičke materijale.

	Brzorezni čelik	Tvrđi metal	Oksidna rezna keramika	Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub> rezna keramika	CBN	PCD
Gustoća (g/cm <sup>3</sup> )	8,0-9,0	6,0-15,0	3,9-4,5	3,2-3,6	3,45	3,5
Tvrdoća (HV 10/30)	700-900	1200-1800	1450-2100	1350-1600	3500	7000
Savojna čvrstoća (kN/mm <sup>2</sup> )	2500-4000	1300-3200	400-800	600-950	500-800	600-1100
Lomna žilavost (mN/mm <sup>2</sup> )	15-30	10-17	4-6	5-7	-	-
Tlačna čvrstoća (kN/mm <sup>2</sup> )	2800-3800	3500-6000	3500-5500	-	-	3000
Modul elastičnosti (kN/mm <sup>2</sup> )	260-300	470-650	300-450	300-380	680	840
Koef. toplinskog istezanja (10 <sup>-6</sup> K <sup>-1</sup> )	9-12	4,6-7,5	5,5-8,0	3,0-3,8	1,2	0,8
Toplinska vodljivosti (W/mK)	15-48	20-80	10-38	30-60	445	780-1200

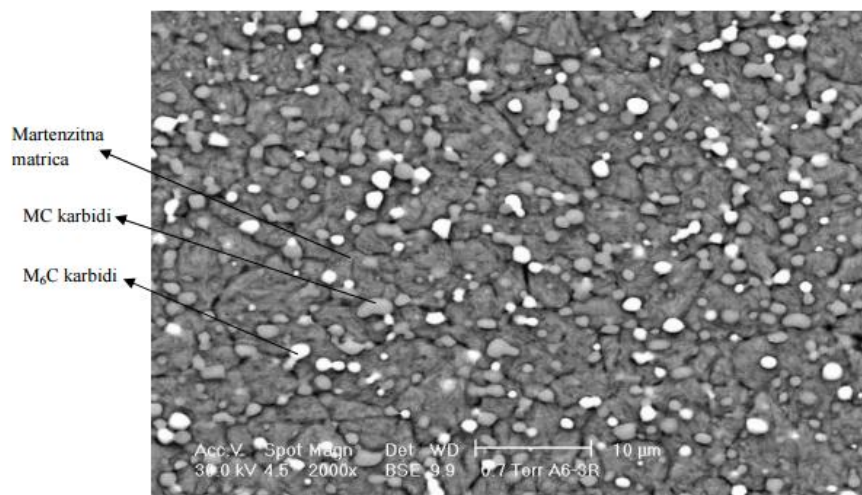
Tabela 1. Fizikalna svojstva reznih materijala

### 3.3.1. Brzorezni čelici

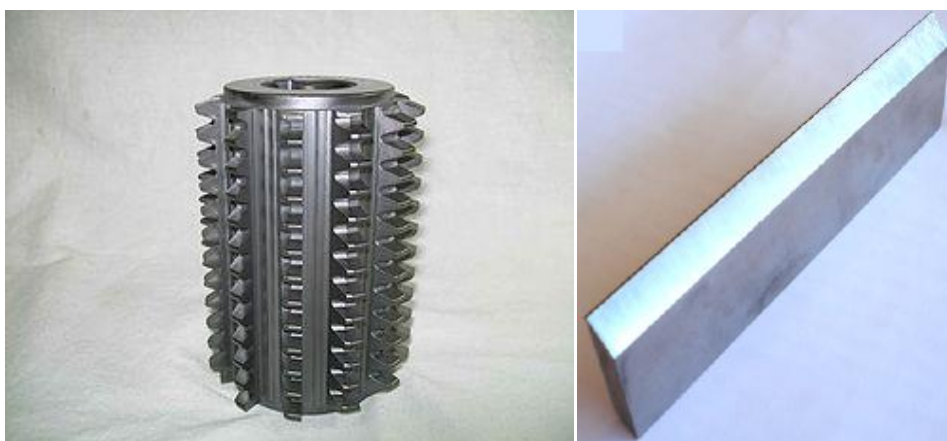
Najstariji alati za obradu odvajanjem su alati od visokougličnih alatnih čelika. To su uglavnom nelegirani čelici. Takvi čelici toplinskom obradom ne postižu dovoljno visoku tvrdoću. S obzirom na to da su alati za obradu odvajanjem čestica kod eksploatacije izloženi visokim temperaturama i visokom trošenju, čelici koji imaju potrebna svojstva za ovu primjenu su jedino brzorezni čelici. Brzorezni čelici su takvi čelici koji su legirani sa jakim karbidotvorcima, kao što su Cr, Co, W, V, Mo te sa povišenim udjelom ugljika od 0,7 do 1,3%. Takav sastav uzrokuje stvaranje slobodnih karbida koji su nosioc otpornosti na trošenje, i koji su postojani i pri visokim temperaturama. Slika 15., prikazuje primjer glodala od brzoreznog čelika i HSS pločicu. Takva dobivena mikrostruktura ima veliku otpornost na trošenje kao i otpornost na popuštanje pri radnim temperaturama do 500 / 600°C. Kod eksploatacije je za dobivanje što boljih svojstava najpogodnija struktura sa sitnim, zaobljenim i ravnomjerno raspodijeljenim karbidima. U današnjoj proizvodnji brzoreznih čelika primjenjuje se postupak uobičajenim lijevanjem u ingote, ali također i noviji postupak metalurgije praha. Takav postupak je tehnološki postupak pomoću kojeg se proizvode čvrsta metalna tijela tako da se čestice praška jednog ili više metala sjedinjuju. Sama proizvodnja

sastoji se od nekoliko segmenata a to su proizvodnja praha, prešanje te sinteriranje, odnosno srašćivanje. Ovim načinom omogućeno je postizanje sitnozrnate mikrostrukture sa fino dispergiranim karbidima. Takva sitnozrnata mikrostruktura utječe na poboljšanje svojstava u odnosu na brzorezne čelike koji su proizvedeni klasičnim postupcima kao što su na primjer, povišenje žilavosti nakon toplinske obrade na tvrdoću od 68-70 HRC, u odnosu na klasično proizvedene čelike. Alati koji su proizvedeni tim načinom imaju duži vijek trajanja kada se uzima u obzir povećana otpornost na trošenje, a bez opasnosti od krhkog loma radi manje žilavosti. Ti navedeni pozitivni faktori popraćeni su naravno i višom cijenom s obzirom da je postupak metalurgije praha puno skuplji postupak u odnosu na klasično lijevanje u ingote. Slika 15 prikazuje mikrostrukturu čelika koji je proizveden postupkom metalurgije praha. Može se uočiti disperzija karbida unutar martenzitne matrice. Kako bi čelici u eksploataciji zadovoljili zahtijevane uvjete, najvažnija je toplinska obrada. Toplinska obrada se mora pravilno provoditi stoga joj je potrebno posvetiti veliku pažnju. Radi male toplinske vodljivosti ovih čelika potrebno je provesti predgrijavanje u tri stupnja kod austenitizacije. Pri temperaturama preko 700 / 800°C potrebno je spriječiti pojavu razugljičenja, primjenom određene zaštite. Kod temperature za austenitizaciju treba držati kratko, pritom pazeći da ne dođe do pregrijavanja. Zatim se vrši popuštanje dva ili tri puta u trajanju od jednog sata, pri temperaturi 550 / 600°C, radi pojačanja učinka sekundarnog otvrdnuća. U tom slučaju kod postupka popuštanja na temperaturi od oko 550°C, tvrdoća naraste na gotovo maksimalnih 66 HRC. Jedan od načina kako poboljšati performanse brzoreznih čelika, a posebno pri obradi željeznih legura su tvrde prevlake. Fizikalno prevlačenje iz parne faze, PVD, omogućuje nanošenje prevlake koja je najčešće od titan - nitrida, TiN. Prevlaka se dobiva na takav način da se para, koja sadrži čestice TiN, učvršćuje na površini alata u vakuumskim komorama. Takođe je moguće i nanošenje drugačijih prevlaka, kao što su na primjer, titan – karbonitrid TiCN, cirkonijev nitrid ZrN, te kromov nitrid CrN. PVD je takav postupak koji se provodi na temperaturama koje su niže od temperatura popuštanja brzoreznog čelika, dakle ispod 500°C. Tada nema promjene tvrdoće, odnosno nema još jednog dodatnog popuštanja uslijed PVD postupka. Upotrebom prevlaka omogućuje se povišenje otpornosti na trošenje brzoreznog čelika. No, s obzirom da je debljina prevlake reda veličina 4 - 7 µm, prevlaka se troši u strojnoj obradi i samim time ne omogućuje kvalitetnu obradu abrazivnih materijala tvrdih od 40 HRC.





Slika 14. Mikrostruktura čelika proizvedenog metalurgijom praha



Slika 15. Glodalo od brzoreznog čelika (lijevo) i HSS pločica (desno)

### 3.3.2. Tvrdi metal

Tvrdi metal se svrstava u skupinu keramičkih materijala koja se naziva neoksidne keramike, iako se radi o keramičko - metalnom kompozitu. U odnosu na druge neoksidne keramičke materijale razlikuje se po izraženim metalnim svojstvima. To su prvenstveno toplinska i električna vodljivost. Mikrostrukturu tvrdih metala čini visoki udio karbida volframa, titana i tantala, koji su međusobno najčešće povezani kobaltom. Slika 16 prikazuje mikrostrukturu tvrdih metala. Ova vrsta materijala je u početku bila razvijena kao volframov karbid WC u vezivu kobalta Co. Primjenjivan je pri obradi sivog lijeva. Ta vrsta metala posjeduje iznimno dobru kombinaciju svojstava koja proizlazi iz strukture. Takva kombinacija svojstava je pogodna upravo za izradu različitih alata, naročito reznih.

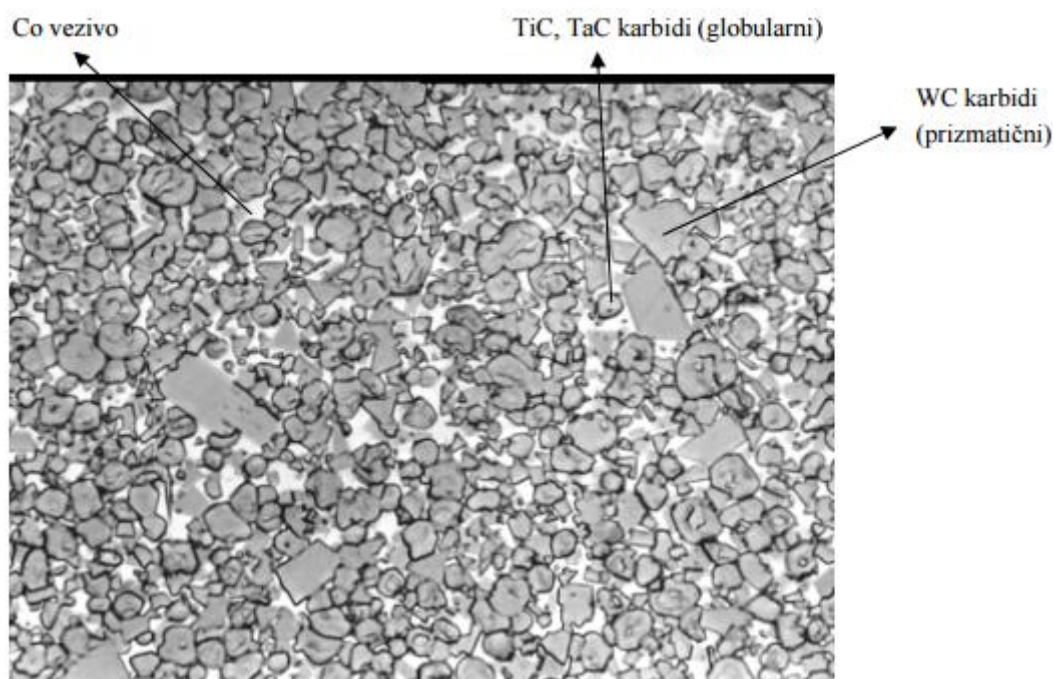
Dodatkom TiC ili TaC smanjuje se sklonost navarivanju i erozijskom trošenju. Na povišenim temperaturama Titanov karbid povisuje čvrstoću, također povisuje tvrdoću i otpornost na oksidaciju. Udio kobalta koji se nalazi u tvrdim metalima kreće se od oko 5% do oko 17%. Povećanjem količine veziva povećava se savojna čvrstoća, a smanjuje se tlačna čvrstoća. Karbidi su općenito nositelji tvrdoće i otpornosti na trošenje, a vezni metal osigurava žilavost višefaznog materijala. Ukoliko se smanji veličina karbida, žilavost se povećava, a tvrdoća se neznatno mijenja. U proizvodnji se koriste neprevučeni i prevučeni tvrdi metali. Slika 17 prikazuje primjer glodala izrađenog od tvrdog metala. Najvažnija razlika između neprevučenih i prevučenih tvrdih metala je u tome što je kod prevučenih tvrdih metala značajno smanjena sklonost difuzijskom trošenju. Stoga se postavlja pitanje koliko su prevučeni tvrdi metali istisnuli iz upotrebe neprevučene? Budući da su oblici trošenja usko povezani s parametrima obrade, može se zaključiti kako prevučeni tvrdi metali imaju prednost kod visokobrzinske obrade, prilikom koje se dolazi do visokih temperatura u reznjoj zoni koje u konačnici i uzrokuju difuzijske procese. Te visoke temperature su glavni uzročnik pojave difundiranja kobaltnog veziva iz matrice prilikom obrade. Difundiranje veziva uzrokuje da zrnca karbida također mijenjaju svoj položaj, ostavljajući tako iza sebe promjenjenu geometriju reznog dijela alata, a posebice zatupljenje glavne oštrice i krater na prednjoj površini. Neprevučeni tvrdi metali se koriste u uvjetima kada alatni strojevi nisu u stanju postići brzine rezanja na kojima bi se mogli pojaviti difuzijski procesi, bilo zbog zastarjelosti ili zbog nedostatka snage.

Tvrđi metali posjeduju sljedeća dobra svojstva, a to su:

- visoku tvrdoću i otpornost na trošenje
- visoko talište
- visok modul elastičnosti, visoku tlačnu čvrstoću i na visokim temperaturama
- otpornost na koroziju
- dobru postojanost na temperaturne oscilacije
- dobru prionjivost s metalnim taljevinama

S obzirom da je najvažnije područje primjene tvrdih metala za rezne alate za obradu odvajanjem čestica, tvrdi metali se prema tom kriteriju dijele u tri skupine a to su:

- Tvrdi metali grupe P, koji imaju do 43% TiC i TaC. Oni su prikladni za obradu materijala s dugom strugotinom gdje su moguće i različite brzine obrade, ovisno o vrsti obrade i vrsti tvrdog metala.
- Tvrdi metali grupe K koji su prikladni za obradu materijala s kratkom strugotinom, kao što su lijevovi na bazi željeza, kamen, porculan, drvo i tvrdi, punjeni polimerni materijali. Sadrže oko 90% volframova karbida WC, 0 do 4% titanova karbida TiC i/ili tantalova karbida TaC, a ostatak čini kobalt Co. Prilikom obrade žilavih materijala kao što je čelik, dolazi do navarivanja strugotine na rezne oštrice reznog alata što uzrokuje stvaranje naljepaka i izjedenosti.
- Tvrdi metali grupe M koji su namijenjeni za obradu svih materijala, a sadrže 80 do 85% WC i do 10% TiC i/ili TaC, a ostatak čini Co. Mogu se upotrebljavati kod obrade čelika do srednjih brzina rezanja.



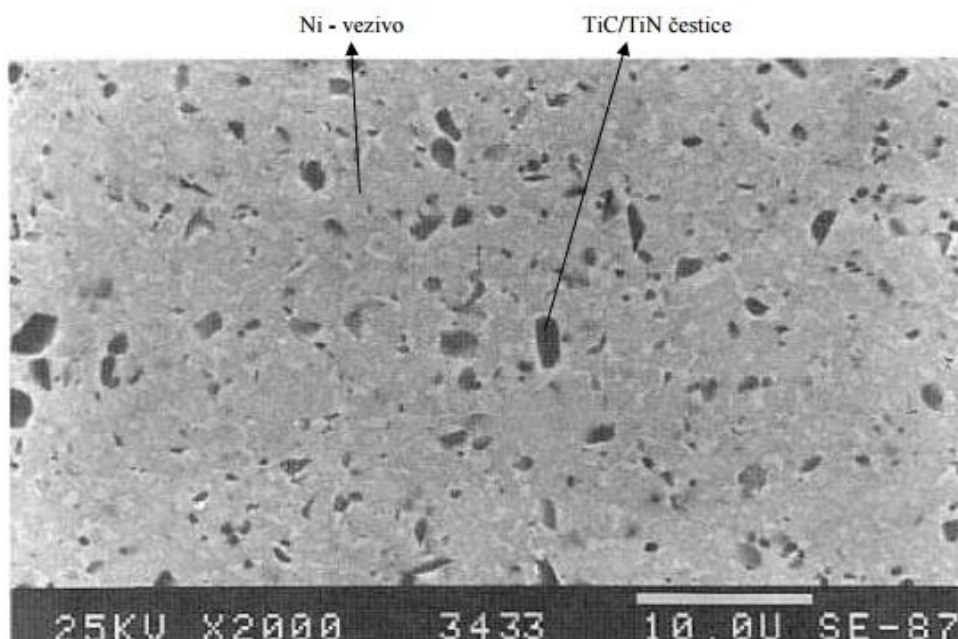
Slika 16. Mikrostruktura tvrdog metala



Slika 17. Glodalo od tvrdog metala

### 3.3.3 Cermet

Cermet je keramičko-metalni kompozit i sastoji se od TiC i Ni. Titan-karbid, ili titan - nitrid mu daje visoku tvrdoću. Slika 18 prikazuje mikrostrukturu cermeta namijenjenu gruboj obradi. Razlika između cermeta i „klasične“ tehničke keramike je u tome što cermet posjeduje metalnu fazu koja služi za povezivanje samog materijala. Ta metalna faza je nikel-kobalt. U usporedbi sa klasičnim tvrdim metalima, cermet je otporniji na trošenje jer ima superiornu otpornost na visoke temperature, bolje karakteristike trenja, višu otpornost na oksidaciju i koroziju. Koristi se općenito za obradu odvajanjem čestica, ali posebno za dijelove kod kojih je nužno postići uske tolerancije. Slika 19 prikazuje primjer reznih pločica od cermeta. U SAD-u se cermet ne koristi za rezni alat u mjeri u kojoj bi mogao jer nije na razini onoga što njegove performanse nude i omogućuju. U Japanu takav materijal predstavlja 30% ukupnih troškova alata, što je daleko značajnije kada uspoređujemo s SAD-om gdje je to 5%. Prednosti cermeta su povišena produktivnost, povećane brzine rezanja i duži vijek trajanja alata. Kada uzmemo u obzir da je cijena cermeta oko 20% niža od prevučениh tvrdih metala, i da imaju i bolja svojstva, može se zaključiti kako potencijal cermeta nije ni približno postignut kada se priča o obradi čeličnih materijala.



Slika 18. Mikrostruktura cermeta za grubu obradu



Slika 19. Rezne pločice od cermeta

### 3.3.4. Rezna keramika

Svi keramički materijali su anorganski i nemetalni. U pravilu se oblikuju iz sirove mase pri sobnoj temperaturi. Svoja tipična svojstva postižu nakon postupka pečenja, odnosno sinteriranja, pri visokim temperaturama. Često se koriste različite vrste tehničke keramike kao osnovni materijal alata u određenim dijelovima obrade odvajanjem čestica. Vrste keramika mogu biti:

1) Oksidne keramike, to su materijali koji se uglavnom sastoje od jednokomponentnih i jednofaznih metalnih oksida kojih ima više od 90%, kao što su čisti aluminijev oksid  $Al_2O_3$  poznat kao i sinterirani korund, aluminijev oksid ojačan titan karbidom, aluminijev oksid ojačan cirkonijevim oksidom, te oksidna keramika ojačana whiskerima  $Al_2O_3 + 15\% ZrO_2 + 20\% SiC$ .

2) Neoksidne keramike koje čine materijali na temelju spojeva bora, ugljika, dušika i silicija. Oni su najbitniji u proizvodnji tehničke keramike za obradu odvajanjem čestica. S obzirom na veliki udio kovalentnih veza, omogućena je primjena pri visokim temperaturama, velika je čvrstoća i tvrdoća, osiguran je visok modul elastičnosti, te dobra otpornost na trošenje i koroziju. Predstavnici neoksidne keramike su: silicijev karbid  $SiC$ , te silicijev nitrid  $Si_3N_4$ . Silicijev nitrid je najčešće korišten keramički materijal na području obrade odvajanjem čestica jer ima nešto bolja mehanička svojstva.

Reznom keramikom mogu se postizati različita mehanička svojstva, a ona ovise o vrsti i količini dodataka. Naglašena je veća lomna žilavost pa je zato najprikladniji za izradu reznih alata, a najčešće je to u obliku reznih pločica. Slika 20 prikazuje različite oblike keramičkih reznih pločica. Prednosti keramike koje posjeduje u odnosu na alatne čelike i tvrde metale rezultat su sastava i kristalne strukture. Općenito, keramike su tvrde, inertne i odlično zadržavaju prvobitna svojstva pri visokim temperaturama. Smanjenjem tendencije krhkom lomu, povećava se potencijal za primjenu keramike kao reznog alata za obradu čelika. To uzrokuje smanjenje udjela tvrdih metala kao materijala reznih pločica.

Iako se različite vrste keramike mogu razlikovati po pojedinim svojstvima, općenita svojstva koja karakteriziraju keramičke materijale su:

- visoka čvrstoća, a osobito tlačna
- visoka tvrdoća
- visok modul elastičnosti
- visoka otpornost na trošenje
- korozijska postojanost
- kemijska inertnost
- visoka otpornost na puzanje

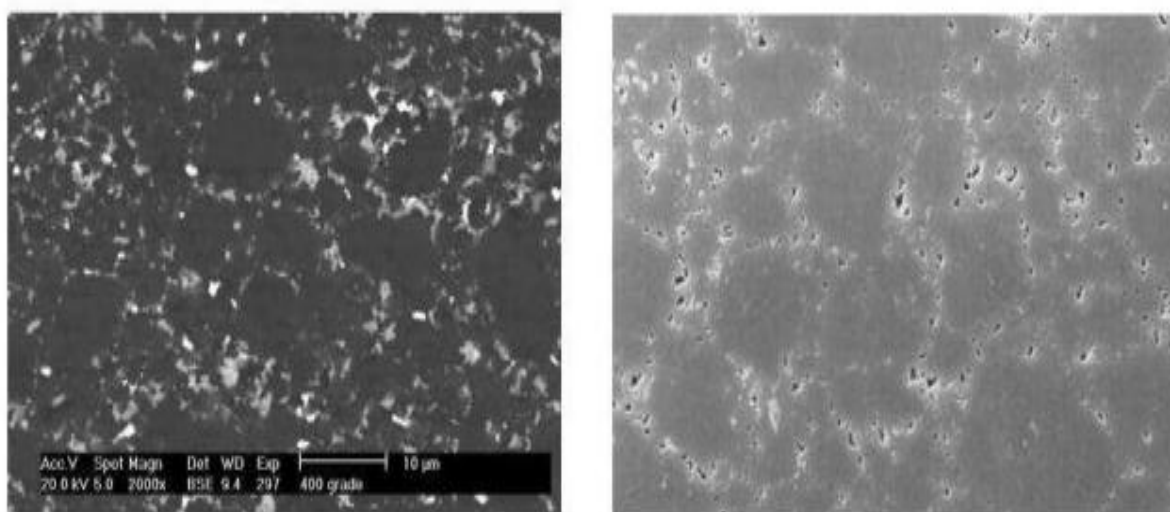
- visoke dopuštene temperaturne primjene
- mala gustoća
- dobra toplinska izolacija
- vrlo dobra električna izolacija



Slika 20. Različiti oblici keramičkih reznih pločica

### 3.3.5. Polikristalni dijamant (PDC)

Otkrićem dijamanta uočeno je da se radi o neobičajeno tvrdom materijalu. Prilikom evolucije čovječanstva, alati koji su izrađeni od tvrdih materijala postaju sve važniji u proizvodnji hrane, oružja i štitova. Nije trebalo proći mnogo vremena da čovjek započne eksperimentirati sa dijamantom kao atom. No, s obzirom na ograničenu dostupnost dijamanta, njegova upotreba je bila uglavnom za alate za graviranje. Počecima 20. stoljeća dijamantni alati su bili mehanički pričvršćeni ili ugrađeni u metalne šipke, a koristili su se za bušenje ili za erodiranje površina. Kasnije, razvojem tehnologije sinteriranja, dijamantni prah se ugrađuje u metalne matrice. Nedugo nakon, primjećeno je da se ugljik može transformirati u gušći dijamant primjenom ekstremnih vrijednosti temperature i tlaka. Uporabom katalitičke otopine pri visokim temperaturama i tlakovima, pri čemu dijamant tvori stabilnu fazu, dobiva se umjetni, odnosno sintetski dijamant. Moguće je kontrolirati rast kristala pa se tako mogu postići i kristali veličine od nekoliko  $\mu\text{m}$  do više mm. Sintezom dijamanta proizvode se monokristalni dijelovi dijamanta. Oni se vrućim prešanjem prerađuju u polikristalne rezne dijelove. Na slici 21 prikazana je mikrostruktura PCD-a, tamna mjesta predstavljaju zrnca dijamanta, a svijetlo prikazano je katalitička otopina Co, preostala iz proizvodnje.



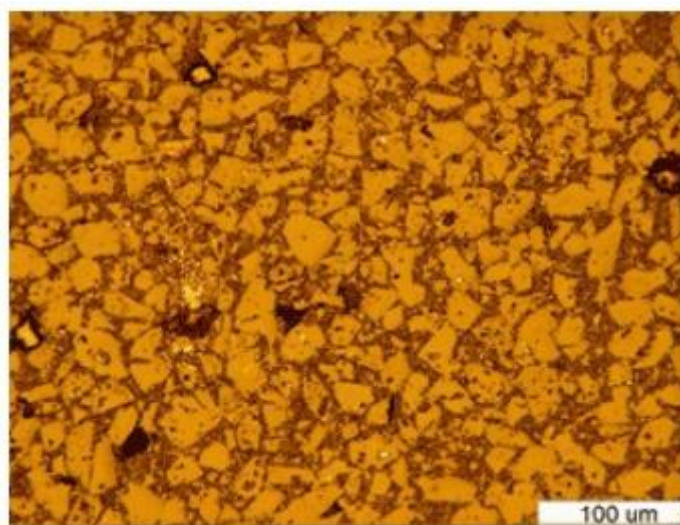
Slika 21. Mikrostruktura PCD-a

### 3.3.6. Kubični bor nitrid (CBN)

Približno s otkrićem sinteze dijamanta, znanstvenici su također otkrili da bor (B) i dušik (N) mogu tvoriti plošno centriranu (FCC) kubičnu rešetku poput dijamanta. Spoj borovog nitrida poznat je još od 1920-ih godina, ali kao mekan materijal, koji ima heksagonalnu strukturu rešetke isto kao i grafit. Primjenom brojnih eksperimenata, sintezom CBN-a dobiva se vrlo tvrdi spoj kubične strukture koji ima gustoću približnu kao i dijamant. Daljnom procjenom utvrđeno je da je CBN veoma ozbiljan konkurent dijamantu kada se govori o materijalu za izradu alata za obradu odvajanjem. Uspoređujući CBN sa tvrdim metalima, cermetom i keramikom, zrnca CBN-a i dijamanta su direktno sinterirana bez potrebe dodavanja vezivne komponente. Slika 22 prikazuje mikrostrukturu CBN-a. Radne površine većine reznih alata su uglavnom dvodimenzionalne. Stoga se sinterirani dijamant ili sinterirani CBN uglavnom upotrebljavaju kao tanki slojevi na pločicama od tvrdog metala debljine od 0,2 do 1 mm. Takvom kombinacijom postiže se nekoliko prednosti, a to su viša žilavost te niža cijena u odnosu na pločice koje su cjelokupno izrađene od PCD-a ili CBN-a. U novije vrijeme CBN-u se dodaju još i različita veziva uz dodatak različitih karbida, a s ciljem varijacije svojstava. Iako BCBN, odnosno kubični bor nitrid bez veziva posjeduje neke vrlo bitne prednosti koje ga čine povoljnijim odabirom kod primjene za visokobrzinsku obradu.



- Velika toplinska vodljivost i izvrsna otpornost toplini i toplinskim šokovima, čime se minimizira mogućnost toplinskih napuknuća i krzanja na oštrici alata.
- Pogodan je za prekidne obrade. Ima izvrsna mehanička svojstva kao što su tvrdoća i čvrstoća jer je izgrađen od čestica čija veličina ne prelazi 0,5  $\mu\text{m}$ . Te čestice su čvrsto povezane jedna s drugom bez veziva ili agensa i katalizatora na granicama zrna.
- Može se rezati i lemiti. Time se mogu dobiti oblici pogodni za primjenu u tokarenju i glodanju, kao i za izradu specijalnih lemljenih alata.



Slika 22. Mikrostruktura CBN-a

### 3.3.7. Svojstva i primjena CBN-a i PCD-a

Kako je već navedeno, dijamant je najtvrdi poznati materijal u prirodi, no uz to posjeduje i druge odlične karakteristike. Te karakteristike su visoka toplinska vodljivost, nizak koeficijent toplinske ekspanzije, nizak koeficijent trenja, što su ujedno karakteristike i CBN-a. Kada se govori o primjeni PCD-a, ona se ograničava na obradu odvajanjem neželjeznih legura, polimera i kamena, tvrde i meke gume, te stakla. PCD je potpuno inertan pri obradi lakih metala kao što su na primjer aluminij i cink. Ne upotrebljava se za obradu željeznih materijala, radi visokog afiniteta ugljika prema željezu i zbog relativno niskih temperatura pri kojima izgara, 900°C. Stoga mu se područje primjene uglavnom odnosi na temperature do maksimalno 650°C. Nedostaci su mu niska tlačna i savojna čvrstoća, koje iznose 3000 N/mm<sup>2</sup>, odnosno 600 N/mm<sup>2</sup>. Unatoč navedenim nedostacima, dijamant se vrlo često koristi kao rezni materijal, pogotovo u automobilskoj i zrakoplovnoj industriji. Reznim pločicama od PCD-a najbolje se obrađuju kompoziti s metalnom matricom, aluminijeve legure te vlaknima ojačani polimeri. CBN je također inertan prema navedenim materijalima,

ali budući da ima nižu tvrdoću ipak ne može konkurirati PCD-u na tom području primjene. Za razliku od PCD-a, CBN-om se mogu obrađivati sve vrste materijala, kao i željezne legure pri temperaturama koje nadmašuju 1000°C. Slika 23 prikazuje primjer CBN rezne pločice. CBN je manje rekativan kod obrade legura nikla i kobalta. Također prednost CBN-a u odnosu na PCD jest i značajno manja sklonost oksidaciji.



Slika 23. CBN rezna pločica

#### 4. PARAMETRI OBRADE

Određenim parametrima rada realizira se postupak obrade koji treba primijeniti pri izrad željenih strojnih dijelova. Te vrijednosti se moraju za svaki individualni slučaj što točnije odrediti jer neposredno utječu na ekonomičnost obrade. Između pojedinih veličina postoji funkcionalna ovisnost iz čega proizlaze pojedinačne vrijednosti, ovisno o postavljenim ograničenjima. Zbog toga ekonomičnost obrade ne može rasti jednostavnim povećavanjem vrijednosti tih parametara. Osnovne karakteristične veličine koje određuju parametre obrade glodanja su:

- dubina rezanja  $a_p$
- posmak  $f$
- brzina rezanja  $v_c$
- širina odvojene čestice  $b$
- debljina odvojene čestice  $h$
- presjek odvojene čestice

Također još postoje i neka određena ograničenja pri odabiru odgovarajućih parametara, a to su:

- snaga i broj okretaja stroja
- krutost sklopa
- materijal obratka
- kvaliteta reznog dijela alata
- zahtjevana kvaliteta obrade

#### 4.1. Dubina rezanja

Je veličina odvojenog sloja materijala koja je određena razmakom između obrađivane i obrađene površine, mjerena okomito na obrađenu površinu. Određena je veličinom dodataka za obradu. Najbolja obrada je ona izvedena iz što manje prolaza. Osnovna je težnja skinuti što veću količinu odvojenih čestica, ali uz još uvijek prihvatljivu geometrijsku točnost i kvalitetu obrađene površine, što se ostvaruje višestrukim prolazima pri čemu se za završnu finu obradu odabire konačni rez s minimalnom dubinom.

Formula za izračunavanje dubine rezanja glasi:

$$a_p = \frac{P * \eta}{f * v_c * k_c}$$

gdje je:  $a_p$  - dubina rezanja (mm)

$P$  - snaga alatnog stroja (W)

$\eta$  - stupanj iskoristivosti stroja (%)

$f$  - posmak (mm/okr)

$v_c$  - brzina rezanja (m/min)

$k_c$  - specifični otpor rezanja ( $N/mm^2$ )

#### 4.2. Posmak

Kod glodanja definiramo tri veličine za posmak, a to su :

- posmična brzina  $v_f$
- posmak po zubu glodala  $f_z$
- posmak po jednom okretu glodala  $f$

Posmak predstavlja dužinu za koju se glodalo pomakne u toku jednog okreta. Porastom posmaka po zubu povećava se presjek odvojene čestice, hrapavost obrađene površine te sile na zubu. Sa povećanjem promjera glodala može se odabrati i veći posmak po zubu što zahtijeva i veću krutost alatnog stroja. Vrijeme izrade je jedan od glavnih čimbenika koji utiče na cijenu proizvoda, što je vrijeme izrade dulje to je proizvod skuplji. Brzina posmaka proporcionalna je vremenu izrade i obratno, što je vrijeme izrade veće, to je posmak manji. Optimalna brzina posmaka je ona koja nam daje najveću količinu odvojene čestice, a da pri tome ne dođe do loma alata ili zaustavljanja radnog vretena. Isto tako premala brzina posmaka je neekonomična, te može dovesti i do loma alata.

Izraz za posmak kod glodanja glasi:

$$f = f_z * z \text{ (mm/okr)}$$

gdje je:

$f_z$  - posmak po zubu

$z$  - broj zuba

### 4.3. Brzina rezanja

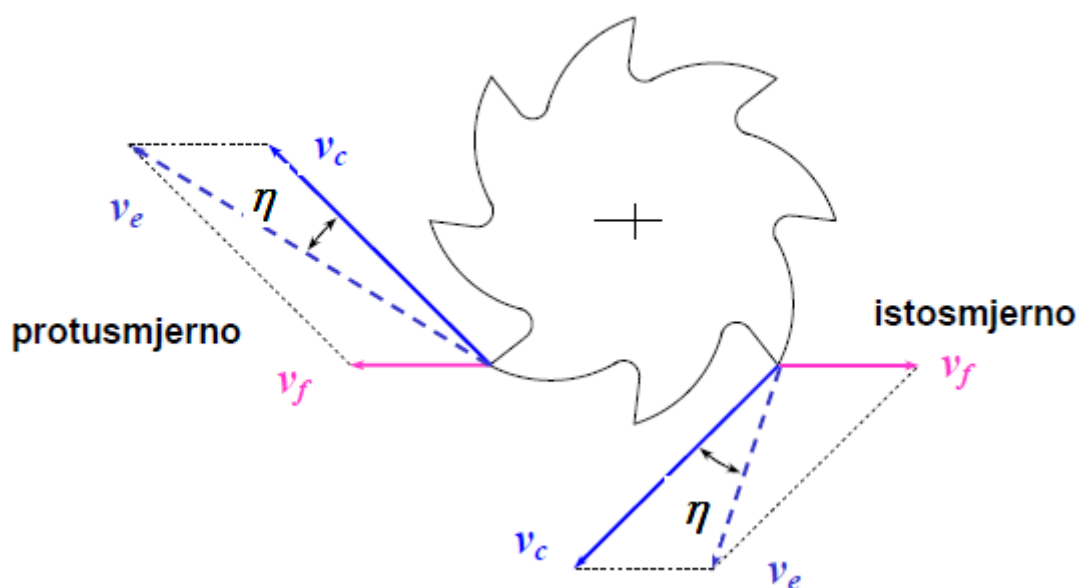
Brzina rezanja ( $v_c$ ) je obodna brzina kojom oštrica odvaja čestice. To je put koji glavna oštrica alata prijeđe po obrađivanoj površini u jedinici vremena. Brzina rezanja kod glodanja je glavno gibanje, a izvodi je alat. Optimalnu brzinu rezanja kod glodanja odabiremo prema vrsti materijala koji se obrađuje, vrsti materijala glodala, vrsti obrade i postojanosti alata. Prevelikom brzinom rezanja možemo uzrokovati preveliko trošenje alata, lom alata, odvajanje dijelova alata, te pregrijavanje izratka što dovodi do njegovog širenja koji nakon hlađenja može imati manje dimenzije od potrebnih, a može doći i do promjene strukture površinskog sloja.

Formula za izračun brzine rezanja kod glodanja glasi:

$$v_c = \frac{D * \pi * n}{1000} \text{ (m/min)}$$

gdje je:  $D$  - promjer alata

$n$  - broj okretaja alata



Slika 24. Brzina rezanja kod protusmjernog i istosmjernog glodanja

## 5. STROJEVI ZA GLODANJE

### 5.1. Podjela glodalica

Glodalice se mogu podijeliti prema položaju glavnog vretena, prema namjeni i načinu upravljanja. Pa prema tome imamo:

- horizontalne glodalice
- planske glodalice
- vertikalne glodalice
- univerzalne glodalice
- kopirne glodalice
- CNC glodalice

Horizontalne glodalice još se nazivaju konzolne ili jednostavne glodalice. Služe za obradu protusmjernim ili istosmjernim glodanjem. Glodalo se postavlja na horizontalno vratilo koje i ujedno obavlja glavno gibanje, dok se obradak steže u radni stol koji izvodi posmično gibanje.



Slika 25. Horizontalna glodalica

Vertikalne glodalice izvode se tako da im glavno vreteno stoji okomito na predmet koji se obrađuje, dok je ostali dio stroja jednak horizontalnim glodalicama. Pogodne su za glodanje utora, kanala, za profilno te čeono glodanje.



Slika 26. Vertikalna glodalica

Planske glodalice spadaju u podgrupu horizontalnih glodalica. Na njima se najčešće glodaju ravne horizontalne plohe, te imaju visoku produktivnost. Karakteristične su po tome što im se radni stol može gibati samo uzdužno po vodilicama na kućištu.

Univerzalne glodalice se izvode kao i horizontalne glodalice, ali imaju radni stol koji se može gibati uzdužno, poprečno i oko svoje vertikalne osi. Ta gibanja se omogućuju ugradnjom kružnihutora za vođenje.



Slika 27. Univerzalna glodalica

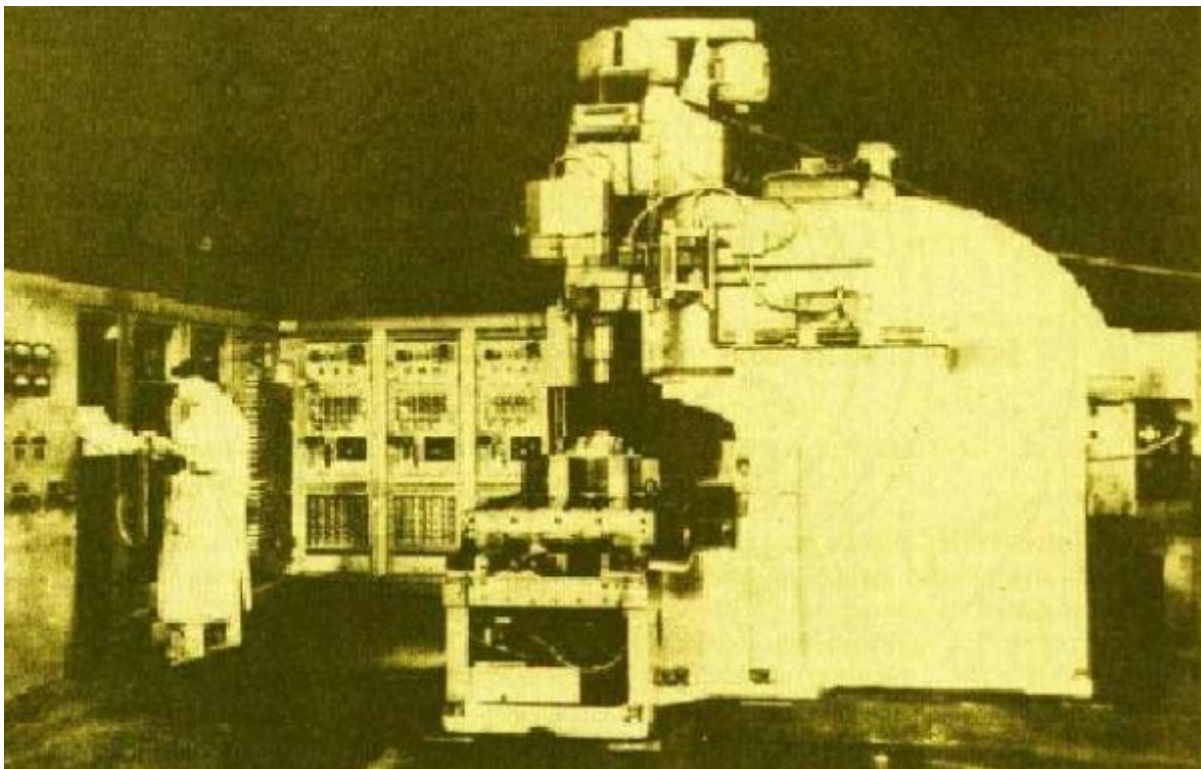
Kopirne glodalice služe isključivo za kopiranje. Kopirne glodalice kopiraju pomoću kopirnog uređaja koji ima ticalo koje prelazi po modelu. Najčešće se koristi za kopiranje ključeva i sličnih predmeta.



Slika 28. Kopirna glodalica

## 5.2. CNC glodalice

Početak numeričkog upravljanja postavio je John Parson 1947. godine. Početkom pedesetih godina prošlog stoljeća nastao je prvi numerički upravljani alatni stroj koji je napravljen od strane znanstvenika sa M.I.T.-ja. Do tadašnji rad čovjeka na stroju zamijenila je upravljačka jedinica u koju se program unosio preko bušene trake. Prve upravljačke jedinice bile su veće od stroja, nisu imale računalo i nosile su naziv NC upravljačke jedinice.

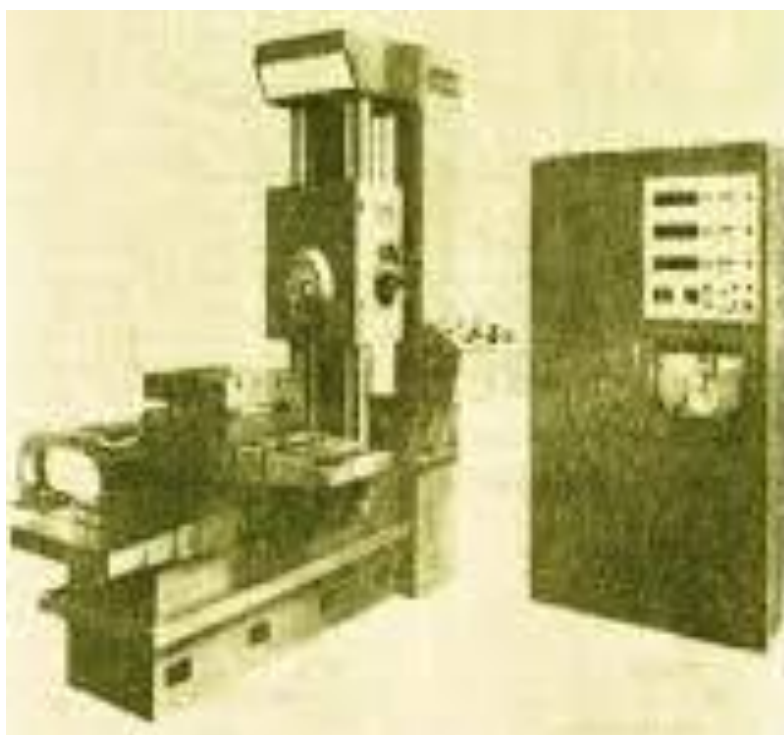


Slika 29. Prvi numerički upravljani stroj



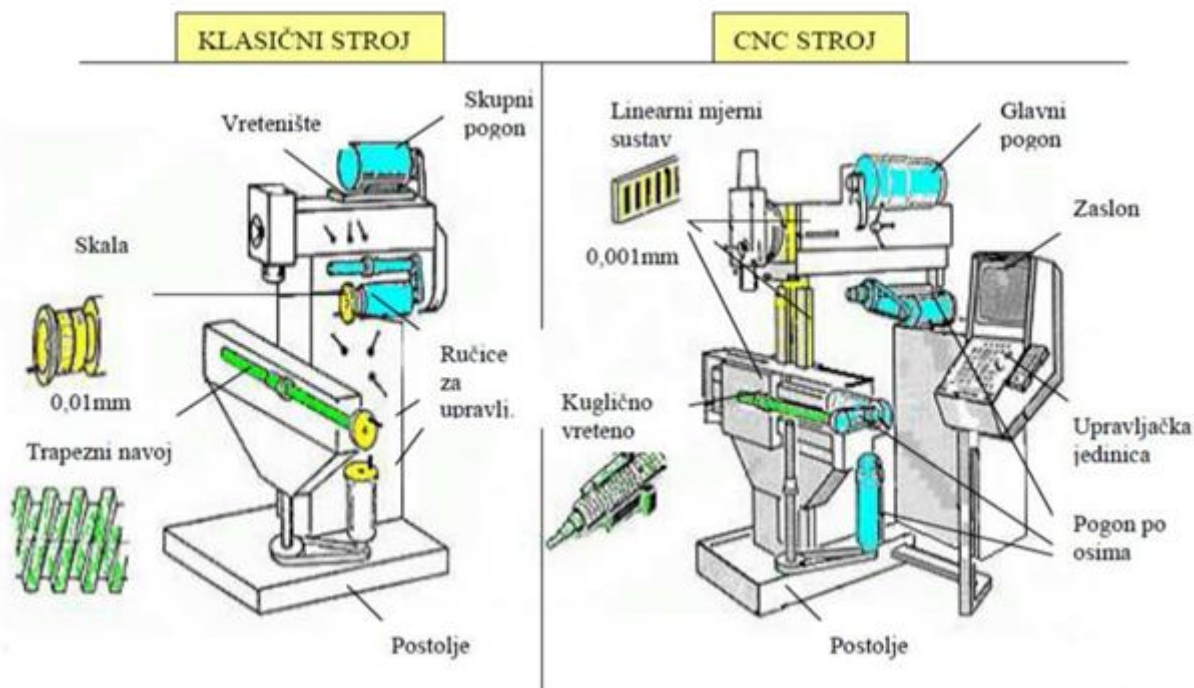
Šezdesetih godina prošlog stoljeća se numeričko upravljanje počinje koristiti u civilnoj industriji, a već sedamdesetih godina se pojavljuje prvi oblik računalnog numeričkog upravljanja (CNC). Nekoliko godina kasnije pojavljuju se i prvi CAD-CAM sustavi.

U Hrvatskoj se prva numerički upravljana glodalica pojavila 1969. godine nosila je naziv SHARMANN FB100, a nabavila ju je Prvomajska. To je tvornica iz Zagreba, koja ja i sama počela proizvoditi numerički upravljane strojeve od 1978. godine.



Slika 30. Prvi numerički upravljani stroj u Hrvatskoj

CNC glodalice su programski upravljane glodalice, koje imaju višeosno upravljanje što znači da mogu izraditi najsloženije oblike obratka u jednom stezanju. Ne razlikuju se mnogo od ručnih, odnosno razika je samo u načinu upravljanja stroja.



Slika 31. Razlika u upravljanju klasičnog i CNC stroja

Osnovne razlike između klasičnog i CNC stroja su:

- kod klasičnih strojeva jedan motor nam pogoni glavno gibanje i ostala gibanja radnog stola, dok kod CNC strojeva imamo jedan motor za pogon glavnog vretena, a za gibanje po osima istosmjerni motore.
- kod klasičnog stroja imamo mjerni sustav koji se sastoji od skale sa nonijusima, a kod CNC stroja imamo sustav koji je 100 puta precizniji od nonijusa.
- kod klasičnog stroja posmak se ostvaruje trapeznim navojnim vretenom, a kod CNC-a kugličnim navojnim vretenom čime se ostvaruje veća preciznost
- upravljanje klasičnih strojeva izvodi se ručno, dok CNC strojevi imaju upravljačku jedinicu te rade putem NC programa

U današnje doba se često u pogonima koriste obradni centri. To su alatni strojevi koji su veličine većih soba, te u njih operator može slobodno ušetati. Takvi obradni centri imaju posebnu sobu u kojoj se nalaze alati koji mogu težiti i više desetaka kilograma.



Slika 32. Veliki obradni centar



Slika 33. Mali obradni centar

## 6. ZAKLJUČAK

Zadatak inženjera je primjeniti stečene viještine i znanje u svrhu rješavanja tehničkih problema koji se postavljaju pred njih u okviru danih ograničenja, kao što je tehnologija izrade, odabir materijal te da se zadovolje ekonomski zahtjevi.

Glodanje je u današnje vrijeme jedan on najzatupljenijih postupaka obrade. Postupkom obrade odvajanja čestica u koji spada i glodanje ostvarujemo razne prednosti nad ostalim postupcima u pogledu: postizanja točnosti, kvaliteti obrađene površine, ekonomičnosti te produktivnosti. Sve te obrade odvajanjem čestica nebi bile moguće da nemamo alat kojim se postiže obrada.

Razvojem tehnologije i potrebama za što bržom, točnijom i ekonomičnijom obradom, morali su se modernizirati i sami alati. Pa tako tu veliku ulogu imaju i materijali od kojih su izrađeni alati. Dolazi do razvoja materijala za alate koji moraju zadovoljiti određene postavljene zahtjeve uslijed brze modernizacije.

Kontinuirano praćenje razvoja tehnologije i njena primjena u kontroli kvalitete nezaobilazna je u suvremenoj industriji proizvodnje alata za glodanje.

## 7. LITERATURA

- [1] Kraut. B.: Strojarski priručnik, Tehnička knjiga Zagreb, 2009.
- [2] Decker, K. H.: Elementi strojeva, Tehnička knjiga zagreb, 1975.
- [3] Pavić, A.: Alati i naprave, Karlovac, 2006.
- [4] Inženjerski priručnik, Proizvodno strojarstvo, prvi svezak – Materijali, Školska knjiga Zagreb, 1998.
- [5] Šavar, Š.: Obrada odvajanjem čestica I, Sveučilišna naknada liber, Zagreb, 1991.
- [6] [https://hr.wikipedia.org/wiki/Tvrdi\\_metal](https://hr.wikipedia.org/wiki/Tvrdi_metal)
- [7] <https://hr.wikipedia.org>
- [8] [www.ss-tehnicka-strojarstvoibrodogradnja-ri.skole.hr](http://www.ss-tehnicka-strojarstvoibrodogradnja-ri.skole.hr)
- [9] <https://www.scribd.com/doc/64821380>
- [10] [https://hr.wikipedia.org/wiki/Rezni\\_alat](https://hr.wikipedia.org/wiki/Rezni_alat)
- [11] <http://www.pfeifer-tti.hr/pdf/KORLOY-PFEIFER-TTI.pdf>
- [12] <http://www.alfatim.hr/proizvodni-program/tvr-di-metal/d6/>
- [13] <https://www.scribd.com/doc/95890010>
- [14] <http://www.celici.rs/Vrste%20celika/17%20Brzorezni%20celici/17%20Uvod.html>
- [15] [https://www.fsb.unizg.hr/usb\\_frontend/files/1396606245-0-keramika-m2\\_2010.pdf](https://www.fsb.unizg.hr/usb_frontend/files/1396606245-0-keramika-m2_2010.pdf)