

**INTERNACIONALNI UNIVERZITET TRAVNIK U TRAVNIKU**

**FAKULTET POLITEHNIČKIH NAUKA TRAVNIK U TRAVNIKU**

**ZAVRŠNI RAD**

**MATERIJALI REZNOG ALATA**

Mentor:

Doc.dr Sejfo Papić

Student:

Rijad Redžić

Travnik,oktobar 2019.

## SADRŽAJ:

Popis tablica.....	3
Popis slika.....	4
Sažetak.....	6
1. UVOD.....	7
2. OSNOVNE KARAKTERISTIKE I PODJELA MATERIJALA REZNIH ALATA.....	10
3. ALATNI ČELICI.....	14
4. BRZOREZNI ČELICI.....	14
5. STELITI.....	17
6. TVRDI METAL.....	18
7. CERMETI.....	28
8. REZNA KERAMIKA.....	30
9. SUPERTVRDI REZNI MATERIJALI.....	34
10. Zaključak.....	37
Literatura.....	38

## Popis tablica

Tabela 1. Oznake i hemski sastav brzoreznih čelika

Tabela 2. Osobine nekih metalnih karbida

Tabela 3. Karakteristike nekih tipičnih vrsta tvrdog metala

Tabela 4. Glavne grupe i vrste tvrdih metala klasifikovanih prema ISO standardu

Tabela 5. Potrošnja različitih vrsta reznih materijala u evropi i japanu u 1989 god

Tabela 6. Karakteristika bijele, crne i sive rezne keramike proizvođača Herte AG

Tabela 7. Primjena osnovnih vrsta rezne keramike

Tabela 8. Opšte preporuke za upotrebu reznih materijala

## Popis slika

Slika 1. Karakteristika materijala za alate

Slika 2. Međusobna veza razvoja tehničkih materijala,zatezna čvrstoća,pojave materijala alata i razvoja postupka obrade od 1800 do 2000 godine

Slika 3. Vrste opterećenja i zahtjevi u pogledu i potrebnih karakteristik materijala reznih alata

Slika 4. Prosječne vrijednosti tvrdoće i žilavosti osnovnih alatnih materijala

Slika 5. Promjene tvrdoće u zavisnosti od promjene temperature za osnovne vrste reznih materijala

Slika 6. Dijapazoni žilavosti i tvrdoće osnovnih vrsta reznih materijala

Slika 7. Osnovne grupe i razvoj rezih materijala

Slika 8. a) Mikrostruktura brzoreznog čelika u mehko žarenom stanju sastavljena od ferita sa karbidima b) Martenzitna mikrostruktura nakon kaljenja i napuštanja

Slika 9. Dijagram Temperatura-vrijeme sa fazama termičke obrade brzoreznih čelika

Slika 10. Mikrostrukture brzoreznog čelika a) dobiven klasičnom postupkom proizvodnje i b) dobiven sinterovanjem

Slika 11. Mikrostruktura livene legure na bazi kobalta

Slika 12. Čestice volframovog karbida WC a) proizveden karbonizacijom volframa i ugljenika, b) proizveden direktnom redukcijom volframove rude

Slika 13. Strugarski nož sa okretnom,mehanički pričvršćenom reznom pločicom od tvrdog metala

Slika 14. Mikrostruktura tvrdog metala na bazi 94%WC I 6 %Co a)grubo zrno, b)srednje zrno i c) fino zrno

Slika 15. Mikrostruktura tvrdog metala srednje veličine zrna a)85%WC-9%(Ta,Ti,Nb)C-6%Co, b)78%wc-155(Ta,Ti,Nb)C-7%Co i c) 73%WC-19%(Ta,Ti,Nb)C-8%Co

Slika 16. Mikroskopski snimak prevlake(TiC+TiN)nanešene na substrat od tvrdog metala WC-Co

Slika 17. Prevlaka od titan karbida nanešena na substrat od tvrdog metala (85%WC-9%(Ti,Ta,Nb)C-6%Co)sa izraženim razugljeničnim slojem

Slika 18. Promjena tvrdoće u zavisnosti od temperature za TiC,TiN i Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> u poređenju sa WC-Co tvrdim metalom

Slika 19. Višestruko presvlačenje tvrdih metala a)Tvrdi metal 73%WC-19%(Ti,Ta,Nb)C-8%Co sa TiC/TiCN/TiN prevlakom b)Tvrdi metal 85%WC-9%(Ti,Ta,Nb)C-6%Co sa TiC/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> prevlakom c)Tvrdi metal 85%WC-9%(Ti,Ta,Nb)C-6%Co sa TiC/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/TiN prevlakom i d) Tvrdi metal 88%WC-7%(Ti,Ta,Nb)C-5%Co sa donjim TiC/TiN prevlakama i sa više gornjih naizmjeničnih TiC/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> prevlaka

Slika 20. Šematski prikaz mikrostrukture cermenta

Slika 21. Rezne pločice od cermenta

Slika 22. Komparacija u relativnom odnosu nekih karakteristika osnovnih vrsta rezne keramike sa snimcima mikrostrukture

Slika 23. Različiti oblici keramičkih reznih pločica

Slika 24. Promjena tvrdoće nekih vrsta rezne keramike i tvrdog metala WC-Co

Slika 25. Dijagram ravnotežnog stanja grafita i dijamanta sa prikazima heksagonalne strukture grafita, kubične strukture dijamanta i mikrostrukture PCD-a

Slika 26. Vrste reznih pločica od polikristalnog dijamanta

Slika 27. Dijagram ravnotežnog stanja i kubičnog heksagonalnog bor nitrida sa prikazom kristalnih rešetki i mikrostrukturom CBN-a

## Sažetak

U ovom radu analizirali smo glavne materijale za proizvodnju reznih alata, te prednosti svakog materijala koji se koristi u modernom dobu, sa fokusom na neke dizajnerske metode konstrukcije alata koje doprinose smanjenju opterećenja istog i smanjenju troškova.

Ključni aspekt za određivanje vrste materijala određuje se prema potrebi proizvodnosti, vrsti materijala za obradu, režim rada, svojstvima svakog oblika alata i uvjetima rada.

## ABSTRACT

In this paper, we analyzed the main materials used for the production of cutting tools in the modern age, the benefits of each material, and focus on some design methods of tool construction that contribute to reducing its load and production cost. The key aspect for determining the type of material are the productivity requirements, the type of processing material, the processing mode, the properties of tool geometry, and the operation conditions.

## 1. Uvod

Vrsta materijala reznog alata određuje se prema potrebi proizvodnosti, vrsti materijala za obradu, režimima obrade, svojstvima svakog oblika alata i uvjetima rada

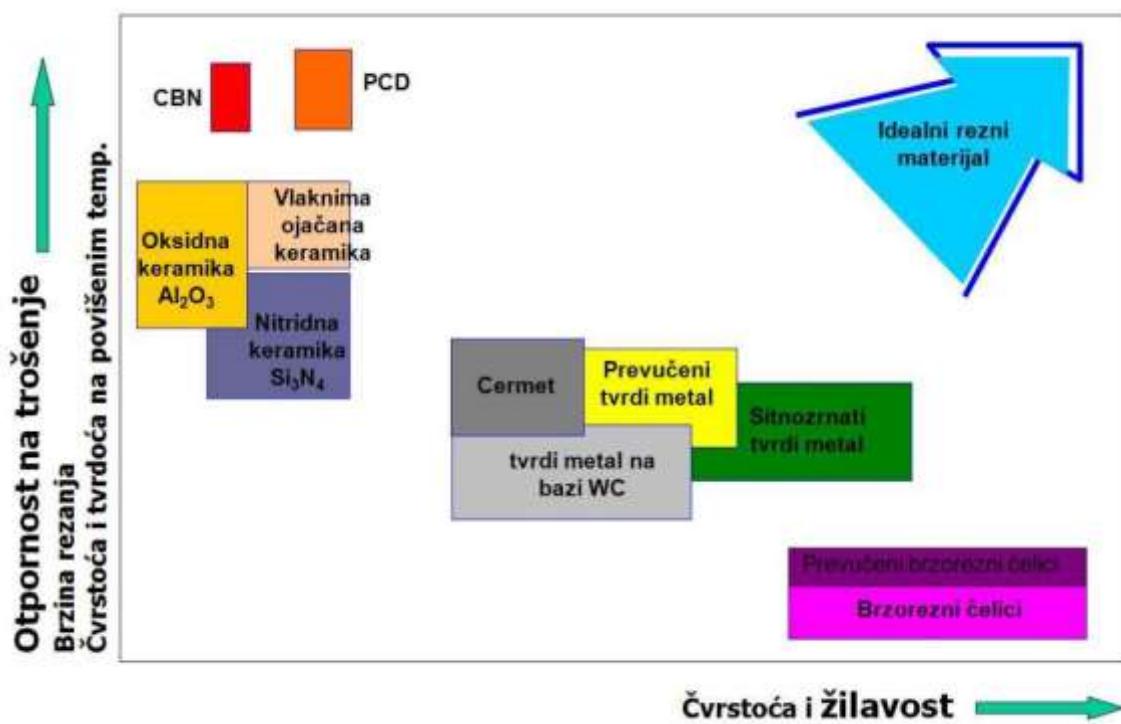
Najbitnije karakteristike alata su:

Otpornost prema trošenju

Žilavost

Otpornost pri povišenim temperaturama

Otpornost prema trošenju proporcionalna je tvrdoći materijala reznog alata, ali ako je teško napraviti alat koji će imati jako veliku tvrdoću, a istovremeno i visoku žilavost. Zbog toga se sve više pokušavaju razviti novi materijali i postupci, pomoću kojih bi takva svojstva bila što više približena. Na slici 1. je vidljivo da se kao najtvrdi materijali pokazuju keramika, CBN i PCD, koji se puno rjeđe koriste nego tvrdi metali, koji daju dobar odnos tvrdoće i žilavosti, ali i dobru otpornost prema visokim temperaturama, čime su bitno utjecali na razvoj tehnologije obrade odvajanjem čestica.



Slika 1. Karakteristike materijala za alate

Alati za obradu odvajanjem čestica pod utjecajem su:

- mehaničkih opterećenja (zahtjevi visoke tvrdoće i dobre žilavosti);
- toplinska opterećenja (zahtjevi temperaturne stabilnosti);
- kemijskih reakcija (što niža sklonost difuziji i oksidaciji).

Visoke tvrdoće alata prikladne su kada je otpor rezanja konstantan. Kada postoje udarna opterećenja prilikom obrade, potrebna je visoka žilavost materijala. Kako su tvrdoća i žilavost obrnuto proporcionalna svojstva materijala, ne postoji idealni materijal za sve vrste obrade odvajanjem čestica. Materijal je potrebno odabrati ovisno o eksploatacijskim uvjetima.

Brzorezni čelici koriste se kada je potrebna visoka žilavost. Imaju tvrdoću od 65 HRc-a ispod temperature od 600 °C. Na dodirnom mjestu alata i obratka temperatura je najčešće veća od 600 °C, pa je potrebno koristiti sredstva za hlađenje i podmazivanje. Postoji nekoliko vrsta brzoreznih čelika. Razlikuju se prema legirnim elementima. Uobičajeni legrani elementi su:

- volfram (poboljšava temperaturnu stabilnost)
- vanadij (formira tvrde karbide i povoljno djeluje na nastajanje sitno zrnate strukture)
- molibden (povećava žilavost i poboljšava temperaturnu stabilnost);
- kobalt (poboljšava temperaturnu stabilnost).

Brzorezni čelici često se koriste za obradu odvajanjem čestica u procesima glodanja, bušenja, provlačenja, odvalnog glodanja i urezivanja navoja. U procesima kao što su tokarenje i čeonoglodanje obično se koriste tvrdi metali. Tvrdi metali sastoje se od volframovih karbida, titana i kobalta kao vezivnog sredstva. Karbidi imaju visoku tvrdoću i prema tome visoku otpornost prema trošenju. Povećanjem sadržaja vezivnog materijala, povećava se žilavost koja je potrebna prilikom udarnih opterećenja, ali se u isto vrijeme smanjuje otpornost prema trošenju. Tijekom rezanja na povišenim temperaturama promjena tvrdoće je zanemariva, pa se proces često izvodi bez sredstva za hlađenje. U procesu obrade s konstantnim otporom rezanja tvrdi metali sastoje se od oko 95% karbida i 5% vezivnog sredstva. U procesima sa češćim udarnim opterećenjima tvrdi metali imaju više vezivnog materijala, do 30%.

Poboljšanje svojstva materijala može se postići modifikacijom površine ili primjenom zaštitnog sloja na površini. Površinski sloj nanosi se CVD postupkom (kemijsko nanošenje iz parne faze, za brzorezne čelike) ili PVD postupkom (fizikalno nanošenje iz parne faze, za tvrde metale). Najčešće nanošeni slojevi su:

TiN (titanov nitrid);

Svjetla, zlatna, keramička prevlaka. Ima visoku tvrdoću (oko 2300 HV), mali koeficijent trenja i srednju otpornost oksidaciji. Nanosi se PVD postupkom na rezne alate i alate za obradu deformiranjem, te se najčešće koristi.

CrN (kromov nitrid);

Svjetla srebrno-siva keramička prevlaka koja se nanosi PVD postupkom. Ima veliku tvrdoću (oko 2000 HV), veliku žilavost te veliku otpornost oksidaciji. Otporan na adhezijsko trošenje, posebno kod obrade ne-željeznih metala. Kod obrade bakra, aluminija ili titana nadmašuje TiN, ali ima veći koeficijent trenja od TiN-a.

TiCN (titanov karbonitrid);

Tvrdoće 3000 HV, razvijen za zahtjevnije uvjete (tvrdoća TiN-a je 2500 HV). Nanosi se CVD postupkom na rezne alate za prekidne obrade i za obrade čelika visoke čvrstoće.

TiAlN (titanov aluminij nitrid)

Plavo-crna keramička prevlaka debljine do 4  $\mu\text{m}$ , koja se nanosi PVD postupkom, a primjenjuje se kod „suhih“ obrada i obrada kaljenih materijala. Velike je tvrdoće (oko 3500 HV) i malog koeficijenta trenja. Otporna je na oksidaciju do temperature od 00 C. Prevlaka je glatka i ima izvrsnu otpornost na abrazijsko i adhezijsko trošenje. Moguće je nanijeti više zaštitnih slojeva, ali ukupna debljina je obično oko 10  $\mu\text{m}$ .

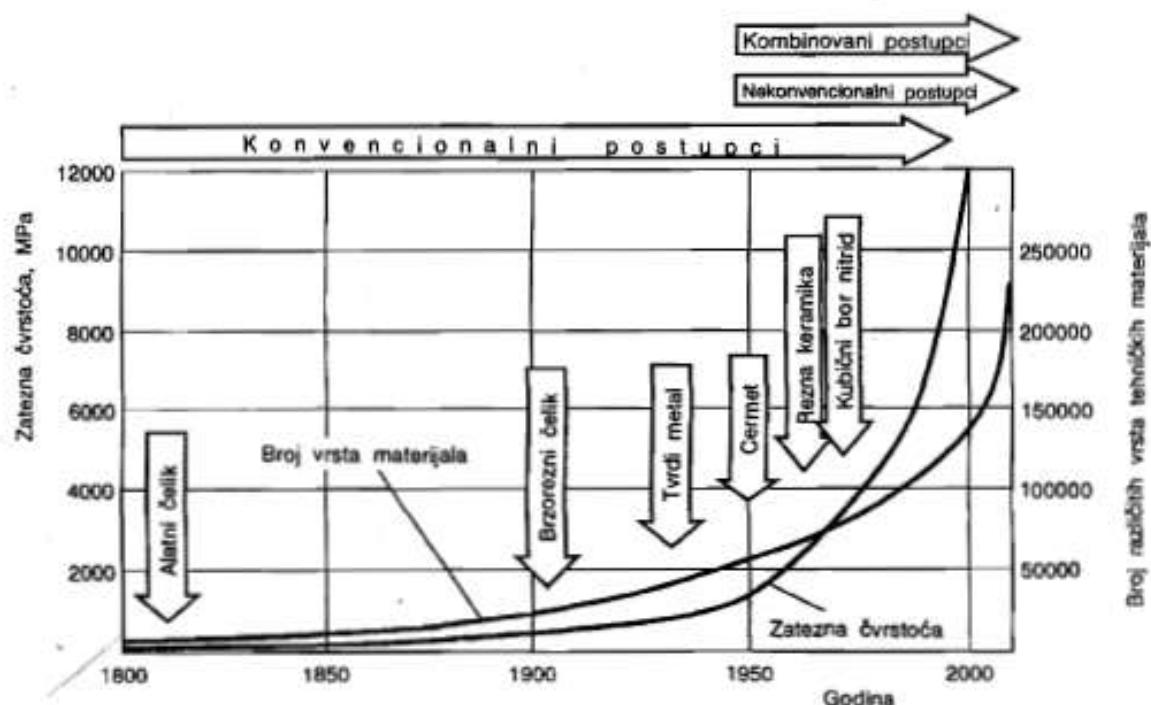
## 2. OSNOVNE KARAKTERISTIKE I PODJELA MATERIJALA REZNIH ALATA

Zahtjevi koji se postavljaju pred proizvodima uslovi su razvoj enormno velikog broja konstrukcionih,tehničkih materijala sa širokim dijapazonima mehaničkih,termičkih,električnih i drugih osobina.Od 1955 godine je u proizvodnju uvedena samo jedna vrsta materijala alata-supertvrdi materijali na bazi polikristalnog dijamanta ( PCD) i kubičnog bor nitrida (CBN).

S druge strane,u istom vremenu,pronađen je bar stotinjak hiljada novih vrsta tehničkih materijala.Problematika obrade novih tehničkih materijala rješavala se osvajanjem novih postupaka obrade,prije svega nekonvencionalnih (elektroerozija,elektrohemiska obrada,obrada elektronskim snopom,ultra zvučna obrada itd) a manje razvojem konvencionalnih postupaka obrade i razvojem novih materijala reznih alata.

Na slici 2. je prikazan razvoj materijala alata,tehničkih materijala kao i postupaka obrade.Ono što prati razvoj tehničkih,a u okviru njih i materijala reznih alata,su bolje mehaničke karakteristike.Tako je na primjer,od 1800 godine do 80-tih godina dvadesetog vijeka zatezna čvrstoća materijala povećana od 300 Mpa do skoro 10000 MPA.

Iz dijagramskog prikaza na slici 2. može se zaključiti da je obrada novih tehničkih materijala u principu moguća zahvaljujući razvoju novih postupaka obrade a ne razvoju novih materijala reznih alata.Ovo iz razloga što povećanje čvrstoće i tvrdoće tehničkih materijala nije bilo praćeno pronalaskom materijala alata odgovarajuće veće čvrstoće i tvrdoće.



Slika 2. Međusobna veza razvoja tehničkih materijala,zatezne čvrstoće,pojave materijala alata i razvoja postupka obrade od 1800 do 2000 godine

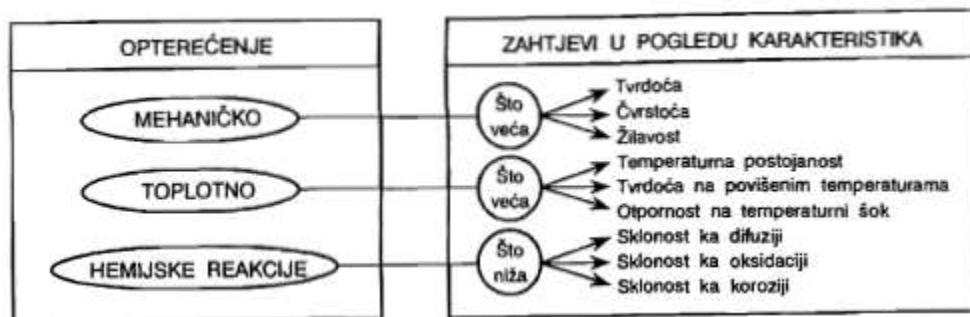
Složeni procesi koji vladaju pri rezanju uslovi su da materijal alata mora zadovoljiti različite zahtjeve. Usljed sile rezanja, materijal alata mora imati odgovarajuću čvrstoću, usljed djelovanja triboloških procesa materijal alata mora biti otporan na trošenje, usljed topotnih pojava materijal alata treba da ima dobre mehaničke karakteristike na povišenim temperaturama i da dobro provodi toplotu, usljed intenziviranja hemiskih procesa pri rezanju alata treba da bude hemski postojan na povišenim temperaturama i sl. Pregled vrsta opterećenja kao i zahtjevi u pogledu karakteristika materijala reznih alata prikazani su na slici 3. Međutim, tri karakteristike se mogu izdvojiti kao najvažnije u pogledu reznih sposobnosti materijala alata:

1 otpornost protiv trošenja (rezna postojanost)

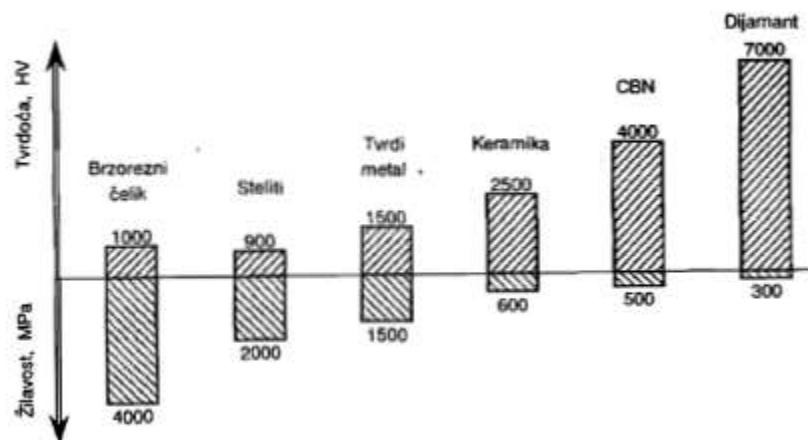
2 žilavost

3 otpornost na povišenim temperaturama.

Otpornost protiv trošenja je direktno proporcionalna tvrdoći materijala reznog alata. S druge strane, istovremeni zahtjevi za veliku žilavošću i tvrdoćom proturiječni. To se najbolje vidi iz prikaza datog na slici 4.



Slika 3. Vrste optrećenja i zashtjevi u pogledu potrebnih karakteristika materijala reznih alata



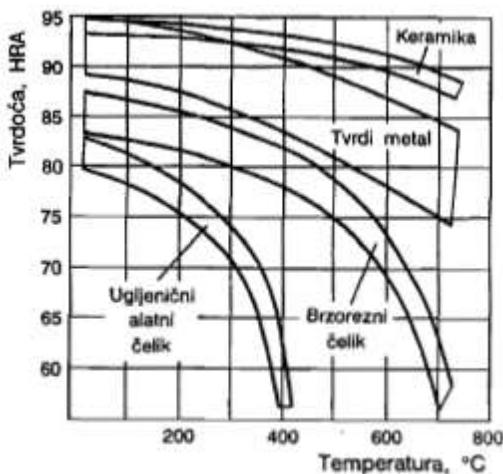
Slika 4. Prosječne vrijednosti tvrdoće i žilavosti osnovnih alatnih materijala

Kod materijala koji imaju relativno veću tvroću, žilavost je obavezno niža i obrnuto. Sa slike 4 se može vidjeti da je zapravo svaki rezni materijal kvalitetan na svoj način. U uslovima obrade kada se traži veća žilavost, brzorezni čelik je nezamjenjiv i tada je nemoguće koristiti neki veoma tvrd materijal alata, na primjer kubični bor nitrid CBN) ili dijamant. Isto tako i u drugom slučaju kada se traži velika tvrdoća materijala alata, nemoguće je koristiti brzorezni čelik, bez obzira što je tvrdoća brzoreznih čelika veća u odnosu na većinu tehničkih materijala. Upravo umjerene, tj. ujednačene tvrdoća i žilavost kod tvrdih metala razlogom su najveće primjene ovog reznog materijala u današnje vrijeme.

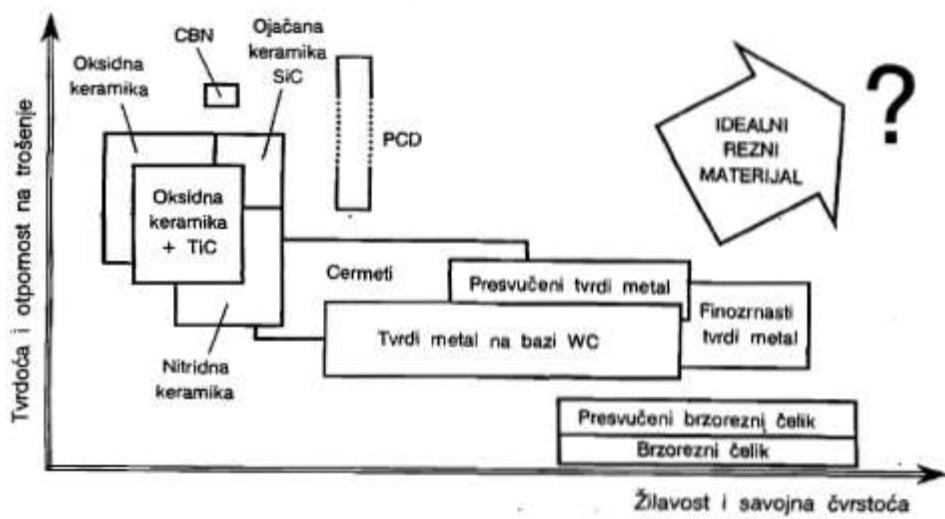
Otpornost na povišenim temperaturama je karakteristika koja se kod materijala reznih alata ogleda u održanju tvrdoće na povišenim temperaturama, koje inače vladaju pri procesu rezanja, zadržava rezne sposobnosti. Na slici 5. su za glavne vrste reznih materijala prikazane promjene tvrdoće s povećanjem temperature. U principu se može zapaziti da kod materijala sa nižom tvrdoćom na normalnoj temperaturi, tvrdoća naglo opada pri povećanju temperature, kao što je slučaj alatnih ugljeničnih i brzoreznih čelika. Tvrdi metal mnogo bolje zadržava tvrdoću na povišenim temperaturama a značajni pad nastupa tek iznad 600 do 700 stepeni ceuziosa.

Kod rezne keramike je održavanje tvrdoće na povišenim temperaturama još izraženije nego kod tvrdog metala što keramiku svrstava u sam vrh materijala s aspekta otpornosti na povišenim temperaturama..

S obzirom na žilavost i s obzirom na tvrdoću mogu se definisati dijapazoni za pojedine rezne materijale. Upravo ovakva daje zaključke o upotrebljivosti pojedinih reznih materijala s obzirom na konkretnе uslove proizvodne operacije. Na slici 6. prikazani su dijapazoni žilavosti i tvrdoće za osnovne rezne materijale.



Slika 5. Promjene tvrdoće u zavisnosti od promjene temperature za osnovne rezne materijale



Slika 6. Dijapazoni žilavosti i tvrdoće osnovnih vrsta reznih materijala

Rezni materijal koji ima istovremeno veliku žilavost,čvrstoću,tvrdoću na povišenim temperaturama ne postoji.Zbog toga je zadatak pravilno odabiranje materijala reznog alata,ali tako da proizvodna operacija košta što manje..

Postoje nekoliko glavnih vrsta reznih materijala.To su:

1 Akatni Čelici

2 Brzorezni čelici

3 Tvrdi metal

4 Rezna keramika

5 Supertvrdi rezni materijali

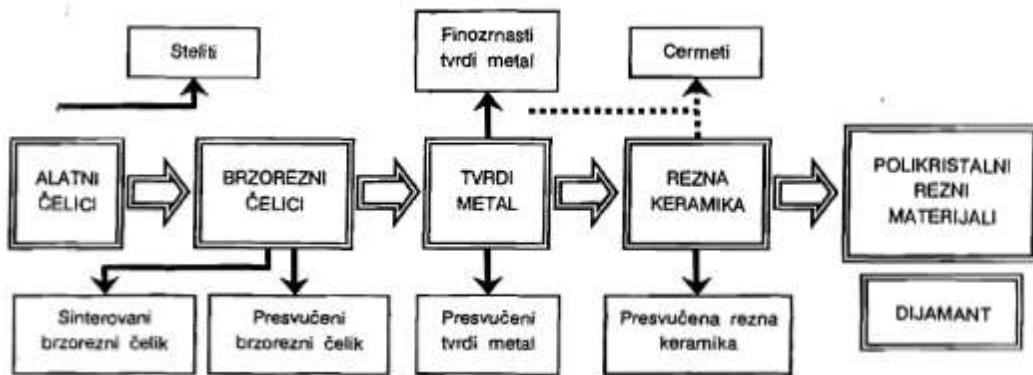
6 Dijamant

Razvoj reznih materijala može se okarakterisati u nekoliko faza koje prate osvajanje novih vrsta reznih materijala.Prvi rezni materijali bili su alatni čelici (ugljenični i legirani) a zatim specijalni legirani čelici-brzorezni čelici,slika 7.

S obzirom na način koji se postiže rezna sposobnost,rezni materijali se mogu podijeliti u dvije grupe:

1 Materijali koji rezne karakteristike dobijaju termičkom obradom(alatni i brzorezni čelici)

2 Materijali koji rezne karakteristike posjeduju bez termičke obrade(tvrdi metal,rezna keramika,polikristalni materijali i dijamant).



Slika 7. Osnovne grupe i razvoj reznih materijala

### 3. ALATNI ČELICI

Alatni čelici predstavljaju prvi rezni materijal i vezani su za početke industrijske proizvodnje.Od svih reznih materijala imaju najmanju temperaturu postojanost jer već na temperaturama od oko  $350^{\circ}\text{C}$ ,tvrdoća im sa 55 do 60 HRC opada na 35 HRC,a na temperaturama od oko  $400^{\circ}\text{C}$  i ispod 20 HRC.

U današnjim uslovima proizvodnje nezamisliva je tako mala brzina rezanja pri kojoj je inače moguće upotreba alatnog čelika kao reznog materijala.Alatnih čelika ima dvije glavne grupe: ugljenični i legirani.

Ovi drugi su poznati kao pod nazovom alatni čelici za rad na hladno.Ono što se danas može reći za alatne čelike je da su zauzimali svoje mjesto u ranim početcima industrijske proizvodnje i da se spominju samo s tog aspekta.U obradi metala rezanjem se više ne koriste,a zadržali su se samo u obradi drveta,papirnoj industriji i td.

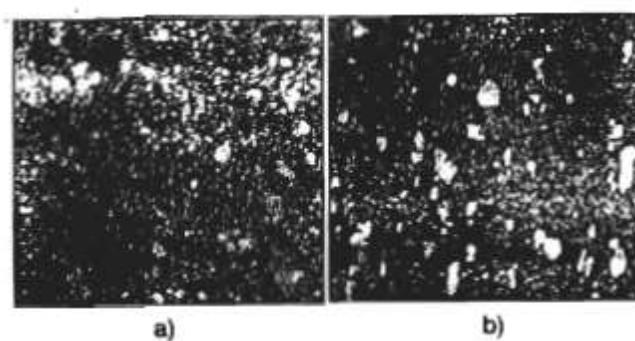
### 4. BRZOREZNI ČELICI

Brzorezni čelik je dobio naziv sto je u vrijeme njegove pojave bilo moguće vršiti rezanje velikim brzinama pa odatle i naziv High-Speed Steel –HSS (Brzorezni čelici).Brzorezni su visokolegirani čelici,legirani hromom,volframom,vanadijem a po nekad i kobaltom sa oko 0,7 do 1,4 % ugljenika.Procenat ugljenika i legirajućih elemenata se u sastavu kombinuje te na taj način dobije legirani čelik koji pravilnom termičkom obradom ima veoma dobru žilavost,veliku otpronost na trošenje i solidnu temperaturnu postojanost..Prema DIN standardu brzorezni čelici se označavaju po sistemu procenata legirajućih elemenata sa slovom S ispred i dijele se u pet grupa,tabela 1.

Tabela 1. Oznake i hemiski sastav brzoreznih čelika

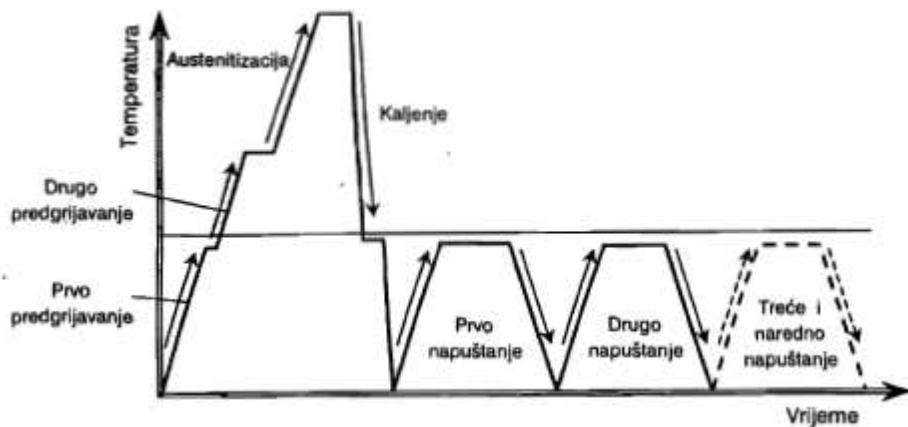
OZNAKE ČELIKA			Hemiski sastav %					
DIN(W-Mo-V-Co)	JUS	AISI	C	Co	Cr	Mo	V	W
<b>Čelici sa 18%W</b>								
S 18-0-1	Č.880	T1	0,75	-	4,2	-	1	18
S 18-1-2-5	Č.6980	T4	0,8	4,75	4,2	0,85	1,5	18
S 18-1-2-10	Č.9782	T5	0,75	9,5	4,2	0,85	1,5	18
<b>Čelici sa 12%W</b>								
S 12-1-2-2	Č.6882	-	0,9	-	4,2	0,85	2,5	12
S 12-1-4	Č.6881	-	1,25	-	4,2	0,85	3,75	12
S 12-1-4-5	Č.9781	-	1,4	6,75	4,2	0,85	3,75	12
S 12-1-2-3	Č.6982	-	0,9	3	4,2	1	2	12
S 12-1-2-5	Č.6981	T8	0,8	4,75	4,2	1,25	1,25	12
<b>Ostali volframovi čelici</b>								
S 9-1-2	Č.6883	-	0,8	-	4,2	1	1,7	9
S 3-3-2	Č.8780	-	0,97	-	4,2	2,68	2,35	3
<b>Čelici sa 6%W i 5 %Mo</b>								
S 6-5-2	Č7680	M2	0,85	-	4,2	5	1,9	6,5
S 6-5-2-5	Č.9780	M35	0,85	4,75	4,2	5	1,9	6,5
S 10-4-3-10	Č.9783	-	1,2	10,5	4,2	4	3,25	10
<b>Čelici sa 2%W i 9 %Mo</b>								
S 2-9-1	Č.7880	M1	0,98	-	3,85	8,6	1,16	1,75

Rezne sposobnosti brzorezni čelik dobiva pravilnom provedenom i veoma pažljivom praćenom termičkom obradom.Način provođenja termičke obrade predstavlja faktor koji utiče na rezne sposobnosti brzoreznog čelika.Cilj termičke obrade je da se mehko žarena struktura ovog čelika koja je feritna sa karbidima provede u martenzitnu strukturu koja je tvrda i koja daje rezne sposobnosti prije svega otpornost prema trošenju.Provođenje feritne u martenzitnu strukturu se ostvaruje kaljenjem.Na slici 8. prikazane su strukture brzoreznog čelika prije i posle kaljenja.Slika 8.a predstavlja mehko žarenu strukturu sastavljenu od ferita i karbida. A slika 8.b martenzitnu strukturu poslije kaljenja i napuštanja.



Slika 8. a) Mikrostruktura brzoreznog čelika u mehko žarenom stanju sastavljeno od ferita sa karbidima, b) Martenzitna mikrostruktura nakon kaljenja i napuštanja

Termička obrada brzoreznih čelika se dijeli u četri faze: predgrijavanje, zagrijavanje na temperaturu austenitizacije, kaljenje i napuštanje. Navedene faze termičke obrade u vidu dijagrama Temperatura-vrijeme prikazane su na slici 9.



Slika 9. Dijagram Temperatura-vrijeme sa fazama termičke obrade brzoreznih čelika

Obično se predgrijavanje vrši u dvije faze: prva-do temperature između 650 i 760 stepeni ceuziosa, i druga-do temperature između 815 i 900 °C.

Druga faza termičke obrade brzoreznih čelika je zagrijavanje do temperature austenitizacije. Ova temperatura zavisi od oblika alata i veličine poprečnog presjeka.

Treća faza kaljenje predstavlja fazu gdje se alati ovog čelika naglo hlađe s ciljem transformacije austenita u tvrdu martenzitnu strukturu. Ovo hladjenje se vrši do sobne temperature.

Zadnja faza je napuštanje koje se sastoji od zagrijavanja do ispod temperature transformacije, držanja na toj temperaturi i laganog hlađenja na zraku.

Napuštanjem se eliminišu zaostala naprezanja u martenzitnoj strukturi i onemogućavaju nastajanje pukotina, a također značajno povećava žilavost čeliku. U zavisnosti od vrste čelika, oblika reznog alata, površine poprečnog presjeka i zahtjevanje tvrdoće i žilavosti mogu se izdvojiti jedno, dva ili više napuštanja.

Upoređenju sa raznim materijalima koji imaju veću temperaturnu postojanost i tvrdoću, na primjer tvrdi metal, brzorezni čelik ipak imaju neke prednosti. To su velika žilavost čime je povećana otpornost rezne ivice na dinamička opterećenja koja su prisutna kod prekidnog žarevanja. U mehko žarenom stanju brzorezni čelik se lahko obrađuje. U kaljenom i poboljšanom stanju brzorezni čelik se da dobro brusiti što omogućaje preciznu obradu radnih površina alata.

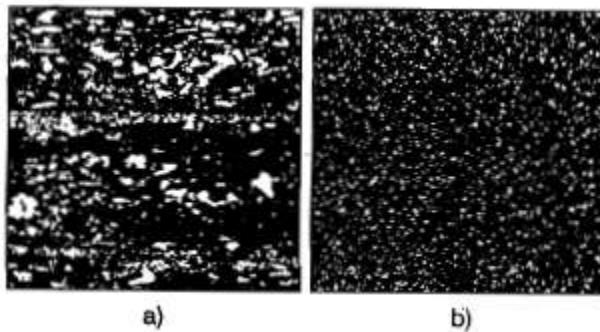
Ove prednosti nisu dovoljne s obzirom da brzorezni čelik ima manju otpornost na trošenje i mnogo manju teperaturnu postojanost u odnosu na druge rezne materijale.

Istraživanja novih vrsta brzoreznih čelika i način poboljšanja reznih sposobnosti rezultiralo je usvajanjem tzv sinterovanog brzoreznog čelika i postupka oslojavanja (presvlačenja). Sinterovani brzorezni čelik je proizvod praškaste metalurgije.

Dobija se presovanjem praškastog materijale u dvije faze.U prvoj fazi na pritisku 40000 Mpa pri temperaturi od 1150 do 1200 °C,a u drugoj na pritisku od 14000 Mpa.

Nanošenje tankih površinskih prevlaka od veoma tvrdog materijala je tehnika koja se najviše primjenjuje kod tvrdog metala. Postoje dva postupka presvlačenja CVD-hemisko nanošenje iz parne faze i PVD-fizikalno nanošenje u vakumu

Na slici 10. prikazana je struktura brzoreznog čelika dobivenog konvencionalnim postupkom proizvodnje i postupkom sinterovanja.



Slika 10. Mikrostrukture brzoreznog čelika: a) dobiven klasičnom postupkom proizvodnje i  
b) dobiven sinterovanjem

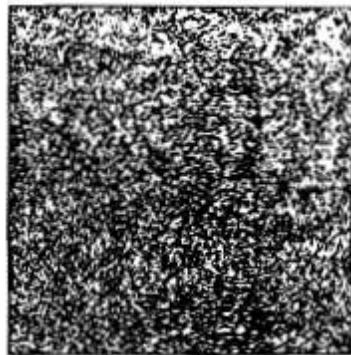
Na kraju treba napomenuti da brzorezni čelik bez obzira što spada u donju klasu raspoloživih reznih materijala ipak zauzima još uvijek solidno mjesto u proizvodnoj praksi.

## 5. STELITI

Stelit je komercijalni naziv za posebnu vrstu reznog materijala koji predstavlja liv tvrdih legura.To su legure bez željeza sa približno 55%Co,15 do 20 % volframovih karbida i 25 do 30 %Cr.Termička obrada ovih legura je nepotrebna.Ovaj rezni materijal je nešto kvalitetniji od brzoreznog čelika i u primjeni je u SAD-u,dok se u Evropi ne primjenjuje.

Jedna druga grupa legura ove klase reznog materijala su legure kobalta:Tantung G(42 do 47%Co, 27 do 32%Cr, 14 do 19 % W, 2 do 4 % C, 2 do 7% Ta, 1 do 3 %Mn, 2 do 5 % Fe, i max 7% Ni) i Tantund 144 (44 do 45 %Co, 25 do 30 % Cr, 16 do 21 % W, 2 do 4 % C, 3 do 8 % Ta, 1 do 3 % Mn, 2 do 5 % Fe,i max 7 5 Ni) Ove legure su po reznim sposobnostima između brzoreznog čelika i tvrdog metala i ne zahtjevaju termičku obradu.

Na slici 11. prikazna je mikrostruktura livene kobaltove legure Tantung G



Slika 11. Mikrostruktura livena legure na bazi kobalta

Naredna vrsta ove reznog materijala također razvijena u SAD je UCON.Ima nekoliko varijanti ,npr UCON 5671 je rezni materijal sastavljen od 50 % kolumbija,30 % titana i 20 % volframa.

Može se koristit za grubu i za finu obradu.

## 6. TVRDI METAL

Struktura tvrdog metala može se upotrebiti sa strukturom građevinskog betona.U vezivnoj osnovi cementa(metalno vezivo kod tvrdog metala) ugrađen je pjesak i sitni kamen(karbidi kod tvrdog metala).Tvrdi metal spada u grupu veoma tvrdih materijala slika 5,otpornih na trošenje,slika 6 i postojanost velikih temperaturama.Otpornost na trošenje i postojanost na visokim temperaturama tvrdom metalu obezbeđuju karbidi navedenih metala.U tabeli 2 date su osnovne karakteristike nekih metalnih karbida

Tabela 2 Osobine nekih karbida

Karbido	Tvrdoča,HV	Kristalna struktura	Tačka topljenja	Gustina g/cm <sup>3</sup>	Modul elastičnosti	Koeficijent toplotnog širenja
WC	2400	Heksagonalna	2800	15,7	696	5,2
TiC	3000	Kubična	3100	4,94	451	7,7
TaC	1800	Kubična	3800	14,5	285	6,3
Nb	2000	Kubična	3600	7,8	338	6,7
Mo <sub>2</sub> C	1500	Heksagonalna	2500	9,18	533	7,8
ZrC	2700	Kubična	3400	6,56	348	6,7
HfC	2600	Kubična	3900	12,76	352	6,6
VC	2900	Kubična	2700	5,71	422	7,2

Tvrdi metal je bio razvijen u Njemačkoj 1929 godine sa WC i Co sastavom. Kasniji razvoj se bazirao upravo na prvoj kombinaciji WC-Co i do danas je razvijena čitava paleta tvrdih metala sa primjenom, ne samo u obradi rezanjem kao rezni materijal, nego i u drugim područjima. Negdje oko 50 % ukupne svjetske proizvodnje tvrdog metala otpada na proizvodnju tvrdog metala kao raznog materijala. Usvijetu postoji 450 specijalizovanih proizviđača tvrdih metala. Udio tvrdog metala kao reznog materijala u tehnologiji obrada je negdje oko 33%, a istovremeno, tvrdim metalom skinuta strugotina čini oko 68% od ukupne količine ukupne strugotine.

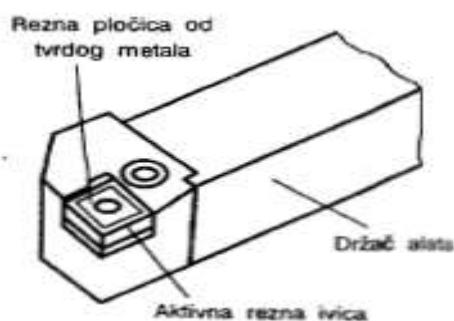
Glavni karbidni sastojak tvrdog metala je volframov karbid. Prah ovog karbida proizvodi se na dva načina. Prvi način predstavlja hemisku preradu volframove rude, nakon čega se dobiveni volframov prah zajedno sa ugljenikom zagrijava na temperaturi 1400 do 1500 °C.

Tako dobiven volframov karbid prikazan je na slici 12a. Veličina čestica praha WC dobivenog na ovaj način iznosi 0,5 do 30 μm. Drugi način dobivanja praha volfram karbida je pomoću direktnе redukcije volframove rude pri čemu se ruda miješa sa željeznim oksidom, alminiumom, ugljenikom i kalcijum karbidom. Pri tome, redukcijom, koju prati temperatura od oko 2500 °C, se proizvodi rastopljena masa, koja, kada se ohladi predstavlja kristale volframovog karbida dispergovane u željezo. Praf volframovog karbida se dalje hemiski odvaja od željeza pri čemu se dobije tzv. osnovni kristalni prah WC prikazan na slici 12b.



Slika 12. Čestice volframovog karbida WC a) proizveden karbonizacijom volframa i ugljenika, b) proizveden direktnom redukcijom volframove rude

Tvrdi metal se dobija postupkom sinterovanja. Pripremljeni prah karbida ,npr WC i prah vezivnog metala, npr Co ,miješaju se i melju. Tako pripremljena smjesa se presuje na hidrauličnim presama i brikete ili pločice,nakon čega se vrši predsinterovanje na tempr 900 °C.Predsintevane pločice se dalje oblikuju u finalne forme koje odgovaraju raznim površinama alata i zatim završno sinteruju na temperaturi 1300 do 1600 °C.Na taj način se dobije konačan oblik (pločica)sinterovanog tvrdog metala.Ovako proizvedena pločica predstavlja rezni dio alata,slika 13. .Dakle,za praktičnu upotrebu tvrdog metala kao raznog materijala koristi se rezne pločice koje se pričvršćuju na nosač rezne pločice urađen od konstrukcionog čelika.Na slici 13. prikazana je četvrtasta rezna pločica sa 4 rezne ivice.Nakon istrošene jedne rezne ivice,pločica se zakreće i druga neistrošena rezna ivica se dovodi u aktivni položaj.Valja naglasiti da ovo nije isključiv način korištenja tvrdog metala kao reznog materijala.Naime, naručito u prvim decenijama primjene pločice od tvrdog metala su se tvrdo lemile za nosača alata.Takov rezni alat se može oštirti na željenu reznu geometriju (uglovi reznog klina) u zavisnosti od potrebe konkretne operacije obrade.



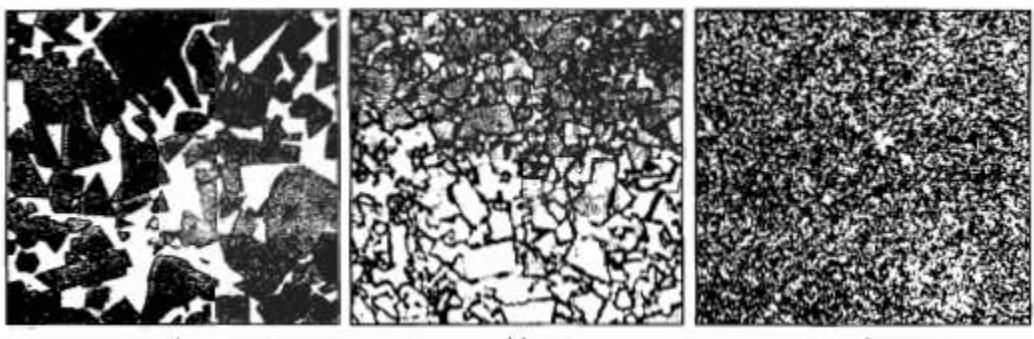
Slika 13. Strugarski nož sa okretnom mehanički pričvršćenom reznom pločicom od tvrdog metala

Rezne karakteristike tvrdog metala zavise od njegovog sastava,i to ne samo od količine i vrste karbida,nego i od veličine zrna karbida i kločine vezivog metala i mikrostrukture.U tabeli 3 prikazane su osnovne karakteristike nekih vrsta tvrdog metala karakterističnog sastava.Vidljivo je da su karakteristike jako uslovljene i veličinom zrna karbida.Npr tvrdi metal sa 94 %WC i 6% Co sa finim zrnom ima najveću , a sa grubim zrnom najmanju tvrdoću.

Apsolutna razlika u tvrdoći i nije tako uočljiva (92,5 do 93,1 HRA,odnosno 90,5 do 91,5 HRA tabela 3.),koliko je velika razlika u relativnoj otpornosti na abrazivno trošenje (100% za fino zrno i 25% za grubo zrno).Isto tako, za posmatrani tvrdi metal,pritisna čvrstoća fino-zrnaste strukture je 5930 MPa ,a grubozrnaste 5170 MPa .Dakle Veličina zrna obrnuto proporcionalno utiče na rezne sposobnosti tvrdog metala.Radi komparacije,na slici 14. prikazane su mikrostrukture posmatranog tvrdog metala sa 94%WC i 6 %Co i to :slika 14a-grubo zrno, slika 14b –srednje zrno i slika 14c-fino zrno.Upravo razvoj tehnike proizvodnje tvrdog metala fono-zrnaste strukture predstavlja jedan poseban pravac razvoja ovog rezanog materijala,što je šematski već prikazano na slici 7 .

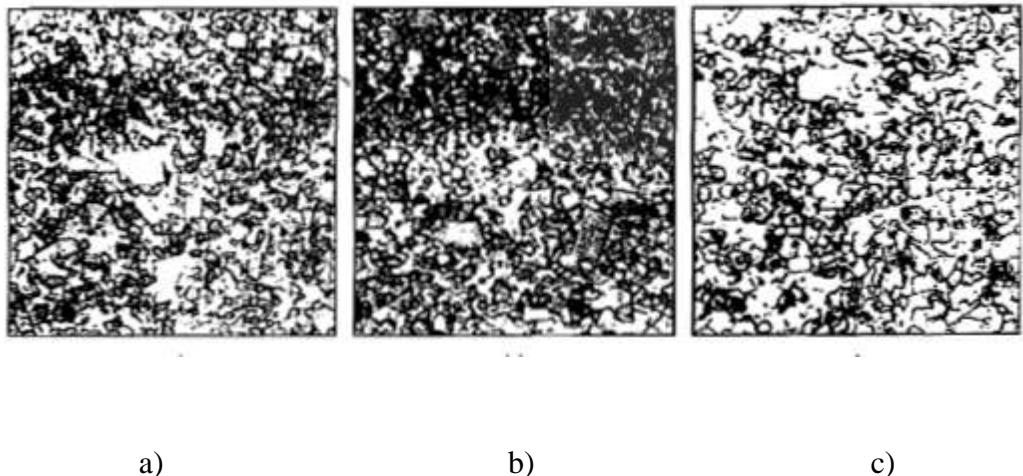
Tabela 3 Karakteristike nekih tipičnih vrsta tvrdog metala

Sastav	Veličina zrna	Tvроćа,HRA	Gustina	Pritisna čvrstoćа	Modul elastičnosti	Relativna otpornost na trošenje	Koif top 200 °C	1000 °C
97%WC-3%Co	Srednje	92,5 93,2	do 15,3	5860	641	100	4	-
94%WC-6%Co	Fino	92,5 93,1	do 15	5930	614	100	4,3	5,9
94%WC-6%Co	Srednje	91,7 92,2	do 15	5450	648	58	4,3	5,4
94%WC-6%Co	Grubo	90,5 91,5	do 15	5170	641	25	4,3	5,6
90%WC-10%Co	Fino	90,7 do 91,3	14,6	5170	620	22	-	-
90%WC-10%Co	Grubo	87,4 88,2	do 14,5	4000	552	7	5,2	-
84%WC-16%Co	Fino	89	13,9	4070	524	5	-	-
84%WC-16%Co	Grubo	86,0 87,5	do 13,9	3860	524	5	5,8	7
75%W-25%Co	Srednje	83 do 85	13	3100	483	3	6,3	-
71%WC-12,5%TiC-12%TaC-4,5%Co	Srednje	92,1 92,8	do 12	5790	565	11	5,2	6,5
72%wc-8%TiC-11,5%TaC-8,5%Co	Srednje	90,7 91,5	do 12,6	5170	558	13	5,8	6,8



Slika 14. Mikrostruktura tvrdog metala na bazi 94%WC I 6%Co  
a)grubo zrno  
b)srednje zrno i c)fino zrno

Uticaj hemiskog sastava na mikostrukturu tvrdog metala prikazan je na slici 15. Sva tri snimka mikrostrukture predstavljaju sa aspekta veličine zrna srednje zrnastu strukturu,ali sa različitim udjelima volframovog karbida,opet karbida titana,tantala i niobia i vezovog metala, kobalta.Na prikazanim mikrostanicama tamni okrugli dijelovi strukture predstavljaju čvrste rastvore karbida,sivi poligonalni dijelovi predstavljaju WC a svijetli dio strukture je kobaltna vezivna osnova.



Slika 15. Mkirostuktura tvrdog metala srednje veličine zrna  
a) 85%WC-9%(Ta,Ti,Nb)C-6%Co, b) 78%wc-155(Ta,Ti,Nb)C-7%Co i c) 73%WC-19%(Ta,Ti,Nb)C-8%Co

S obzirom nba navedene karakteristike,prema ISO standardu,izvršena je podjela tvrdih metala u tri glavne grupe,tabela 5:

- 1 Grupa P(komercionalna boja-plava)koja obuhvata vrste P01 do P50,
- 2 Grupa M(komercionalna boja-žuta)koja obuhvata vrste M10 do M40 i
- 3 Grupa K(komercionalna boja crvena)koja obuhvata vrstu K01 do K40.

Dakle, oznaka tvrdog metala prema ISO standardu sastoji se od slovne oznake P,M,K koja označava jednu od glavne tri grupe i brojne oznake kojom se označava vrsta ili podgrupa tvrdih metala.Veličina broja u ovoj oznaci koraspodentna je nivou osnovnih karakteristika tvrdog metala.S povećanjem broja,povećava se žilavost(otpornost prema opterećenjima uslijed sila rezanja),a tvrdoća opada (otpornost protiv trošenja).Veća žilavost tvrdog metala omogućaje obradu većim posmacima, a veća tvrdoća omogućava obradu većim brzinama rezanja na osnovu prikaza podataka u tabeli 4 slijedi neki generalni zaključci.

1 Unutar svake grupe(P,M,K),vrste tvrdih metala sa najmanjim brojem u oznaci predstavljaju tvrde metale sa najvećom opornošću na trošenje,najmanje žilavošću, pa je njihova primjena kod obrade sa velikim brzinama rezanja i nešto manjim posmacima.

2 Unutar svake grupe (M,P,K),vrste tvrdih metala sa navećim brojem u oznaci predstavljaju tvrde metale sa najmanjem otpornošću na trošenje ,najvećom žilavošću,pa je njihova primjena kod obrada sa manjim brzinama rezanja i nešto većim posmacima.

Osnovne smjernice za upotrebu pojedinih vrsta tvrdih metala su sledeće:

- P01: Za obradu čelika i čeličnog liva,za završno(fino)vanjsku i unutrašnje struganje sa velikim brzinama rezanja,manjim poprečnim presjecima strugotine,sa manjim vibracijama i sa visokom dimenzionom tačnošću izradka,
- P10: Za obradu čelika i čeličnog liva, za struganje,za kopirno struganje,narezivanje navoja,glodanje sa velikim brzinama rezanja i malim ili srednjim poprečnim presjecima strugotine,
- P20: Za obradu čelika,čeličnog liva i kovanog gvožđa sa dugom strugotinom, za struganje,kopirno struganje , glodanje sa srednjim brzinama rezanja i poprečnim presjecima strugotine i za rendisanje sa malim poprečnim presjecima strugotine,
- P30: Za obradu čelika,čeličnog liva i kovanog gvožđa sa dugom strugotinom, za struganje,glodanje i rendisanje sa srednjim ili malim brzinama rezanja,srednjim ili velikim poprečnim presjecima strugotine i pri obradama u nepovoljnim uslovima.

Tabela 4. Glavne grupe i vrste tvrdih metala klasifikovane prema ISOstandardu

ISO	WC	Tic+TaC	Co	Tvrdoća	Pritisna čvrstoća Mpa	Modul elastičnosti Gpa	Koef širenja top
P01	33	59	8	1650	5100	440	7,5
P03	32	56	12	1500	5250	430	8
P04	62	33	5	1700	5250	500	7
P10	55	36	9	1600	5000	530	6,5
P15	71	20	9	1500	5100	530	6,56
P20	76	14	10	1500	5000	540	5,5
P25	70	20	10	1450	4900	550	5,5
P30	82	8	10	1450	4800	560	5,5
P40	74	12	14	1350	4600	560	5,5
M10	84	10	6	1700	6000	580	5,5
M15	81	12	7	1550	5500	570	5,5
M20	82	10	8	1550	5000	560	5,5
M40	79	6	15	1350	4400	540	5,5
K03	92	4	4	1800	6200	630	5
K05	92	2	6	1750	6000	630	5
K10	92	2	6	1650	5800	630	5
K20	92	2	6	1650	5500	620	5
K30	93	-	7	1400	4600	600	5,5
K40	88	-	12	1300	4500	580	5,5

- P40: Za obradu čelika i čeličnog liva sa uključcima pjeska i lunkerima, za struganje, rendisanje, izradu žlebova rendisanjem sa nižim brzinama rezanja, velikim poprečnim presjecima strugotine, sa mogućnošću rada sa velikim vrijednostima uglova reznog klina alata, pri obradi u nepovoljnim uslovima i za obradu na automatskim mašinama,
- P50: Za obradu čelika i čeličnog liva za srednje ili male zatezne čvrstće sa uključcima pjeska i lunkerima, za obradu pri kojima se zahtijeva velika žilavost alata, za struganje, rendisanje, izrade žlebova rendisanjem sa malim brzinama rezanja, velikim poprečnim prijescima strugotine, sa mogućnošću rada sa velikim uglovima reznog klina, pri obradi u nepovoljnim uslovima i za obradu na automatskim mašinama.
- M10: Za obradu čelika čeličnog liva manganskih čelika, sivog liva i legiranog livenog gvožđa, za struganje srednjim ili velikim brzinama rezanja sa srednjim ili malim poprečnim presjecima strugotine.

- M20: Za obradu čelika čeličnog liva, austenitni i manganskih čelika i sivog liva za struganje i glodanje srednjim brzinama i poprečnim presjecima strugotina.
- M30: Za obradu čelika čeličnog liva,austenitnih čelika,sivog liva i legura otpornih na visokim temperaturama,za struganje,glodanje i rendisanje sa srednjim brzinama rezanja,srednjim ili velikim poprečnim presjecima strugotine
- M40: Za obradu mehkih, lahko obradivih čelika,čelika niske zatezne čvrstoće,neželjeznih metala i legura obojenih metala za struganje odsijecanje posebno za obradu na automatskim mašinama.
- K01: Za obradu veoma tvrdog sivog liva,silicijumom visokolegirane aluminijum legura, otvrdnutih(kaljenih)čelika jače abrazivne plastike,keramike za struganje,fino struganje,unutrašnje struganje,glodanje.
- K10: Za obradu sivog liva tvrdoće preko 220 HB,kovanog gvožđa sa kratkom strugotinom,kaljenog čelika,silicijumom legirani aluminijum legura,legura bakra, plastike,stakla,tvrde gume,tvrdog papira,porculana i kamena, za struganje, glodanje, bušenje, unutrašnje struganje i provlačenje.
- K20: Za obradu sivog liva tvrdoće do 220 HB,neželjeznih metala,bakra,mesinga i alminiuma,za struganje,glodanje,rendisanje,unutrašnje struganje,provlačenje,kada se zahtijeva velika žilavost alata.
- K30: Za obradu mehkog sivog liva,čelika niske zatezne čvrstoće,presovanog drveta,za struganje,glodanje,rendisanje,izradu žljebova rendisanjem,pri obradi u nepovoljnim uslovima i sa mogućnošću obrade sa velikim uglovima reznog klinog alata i
- K40: Za obradu mehkog ili tvrdog drveta i ne željeznih metala, za struganje, glodanje,rendisanje,izradu žljebova rendisanjem,pri obradi u nepovoljnim uslovima i sa mogućnošću obrade vlikim uglovima reznog klinog alata

Poseban segment u razvoju reznih materijala koji zauzima veoma značajno mjesto je razvoj tehnike nanošenja tankih slojeva na tvrdi metal.Ovaj tanki sloj predstavlja sloj velike tvrdoće i otpornosti na trošenje i tvrdi metal sa ovakvim slojem se naziva oslojeni ili presvučeni tvrdi metal.Upravo u zadnjih tridesetak godina,glavni napredak u razvoju reznih materijala ostvaren je velikim dijelom i tehnikom presvlačenja.Kao materijal prevlake koriste se karbidi,nitridi,karbonitridi i oksidi nekih metala i vatrootpornih materijala,npr (TiC,TiN,TiC,N),(Ti,Al)N, ZrN, HfC,AfN, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>,WC, CrC,CrN, VC i td.Osnovni materijal tvrdog metala (substrat)na koji se nanosi prevlaka je najčešći WC sastava i sa većom žilavošću.Postupci kojim se vrši nanošenje tankih prevlaka na tvrdi metal nazivaju se jednim zajedničkim nazivom-postupci vakumske depozicije.Postoji dvije vrste ovih postupaka:

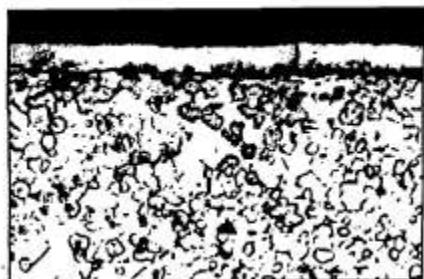
- CVD postupak (postupak hemiskog nanošenja iz parne faze)
- PVD postupak(postupak fizikalno nanošenja u vakumu)

CVD postupkom,prevlaka nastaje kao rezultat hemiske reakcije između gasovite okoline(gasna smjesa)i zagrijane površine alata(tvrdi metal-supstrat).Na ovaj način se formira tanki sloj materijala debljine oko 5 **um**.

PVD postupak prestavlja postupak ionskog nanošenja sloja na supstrat u vakumu.Za razliku od CVD postupka,ovdje je materijal koji se nanosi u čvrstom,a ne u gasovitom stanju.

Postoji tri različita PVD postupka:vakumsko (reaktivno)naparivanje,katodno napršivanje i reaktivno ionsko prekrivanje.

Na slikci 16. prikazan je segment površine supstrata tvrdog metala na bazi volframovog karbida i kobaltne vezive osnove sa nanošenom prevlakom od titanovog karbonitrida( $TiC + TiN$ ).

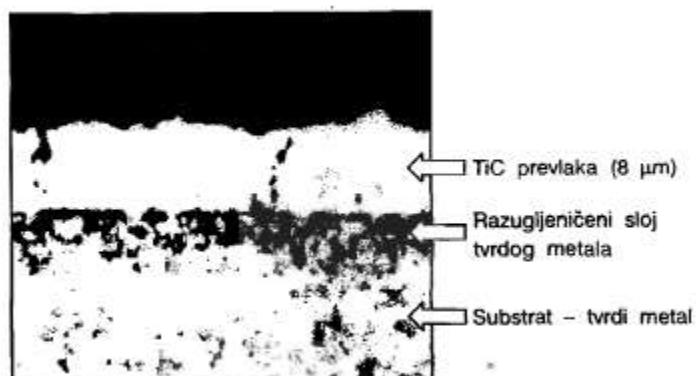


Slika16. Mikroskopski snimak prevlake nanešene na substrat od tvrdog metala

Vec je napomenuto da je tehnika nanošenja prevlaka prvo bitno vezana samo za presvlačenja tvrdog metala. Oba postupka CVD i PVD se uspješno primjenjuju za tvrdi metal, dok se za presvlačenje brzoreznog čelika koristi samo PVD postupak. Ovo iz razloga opasnosti od razugljičenja čelika pri viskoim temperaturama i hemiskim reakcijama koje se inače dešavaju pri CVD postupku. No opasnost od razugljičenja površine tvrdog metala pri CVD presvlačenja također je prisutna ,ali daleko manje nego kod brzoreznih čelika. Na slici 17. prikazan je razugljenični površinski sloj tvrdog metala pri CVD postupku nanošenja TiC prevlake.

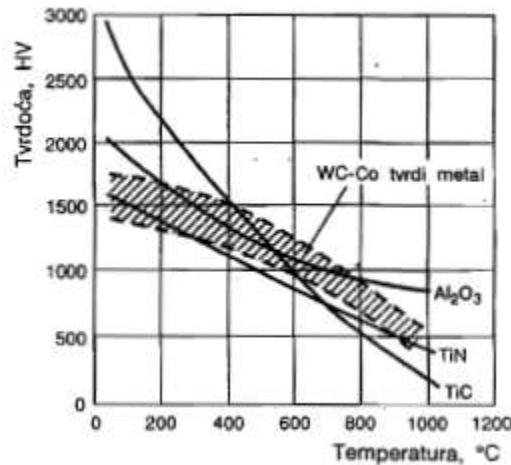
Dakle, uslijed nepoželjne sekundarne reakcije ugljenik iz tvrdog metala ,biva izvučen i vezan sa titanom iz gasovite faze pri CVD postupku,formirajući tako TiC ,odnosnu prevlaku.

Formiranje TiC prevlaka se desilo u pogrešnom pravcu što ima za posljedicu stvaranje krtog sloja (slika 17 – zatamljeni sloj između prevlake i substrata tvrdog metala). Ovaj krti sloj će biti uzrokom veoma brzog otkaza lata jer će njegovim rezanjem, pri malo većim opterećenjima,doći i do rezanja prevlake koja na ovaj način gubi neophodnu podlogu.



Slika 17. Prevlaka od titan karbida nanešena na substrat od tvrdog metala

Rezne karakteristike TiN ,CiN i Al2O3,naručito otpornost protiv trošenja koja proizilazi iz njihove velike tvrdoće i na povišenim temperaturama,razlog su njihove najčešće primjene kao materijala za presvlačenje.Na slici 18. prikazan je promjena tvrdoće u zavisnosti od temperature za TiN ,TiN i AL2O3.



Slika 18. Promjena tvrdoće u zavisnosti od temperature za Tic,TiN i AL2O3 u poređenju sa WC-Co tvrdim metalom

Istraživanjem je razvijena tehnika višeslojnih prevlaka pri čemu višestruko poboljšavaju rezne sposobnosti alata.NPR Al2O3 koji ima veliku otpornost protiv trošenja,nemože se sa uspjehom nanositi na osnovni supstrat tvrdog metala na baci WC ,ali zato predhodnim nanošenjem prevlake od titanovog karbida(TiC),stvara se osnova na koju se odlično nanosi Al2O3

Na slici 19. prikazani su mikroskopski snimci višeslojno presvučenih tvrdih metala.Višeslojne prevlake su obično ukupne debljine oko 10 **um** bez obzira na broj slojeva

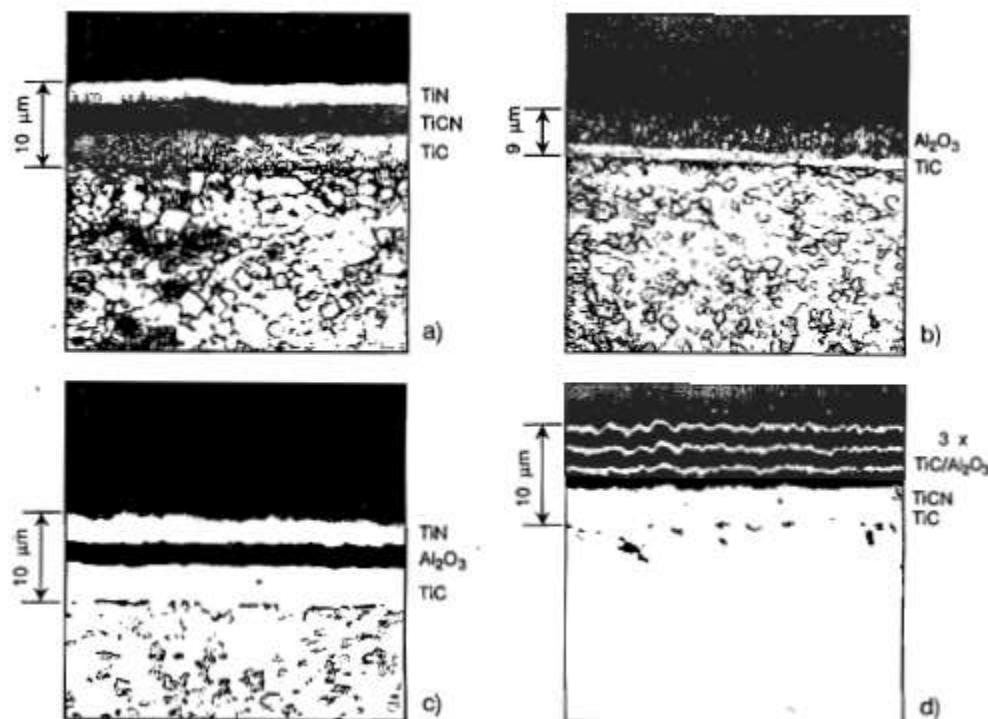
Bez obzira na veoma dobre karakteristike presvučeni tvrdi metal se ne može korisiti za obradu svih materijala.

Veoma loši rezultati pri upotrebi presvučenog tvrdo metala se dobiju pri obradu aluminijuvim,magnezijumovim ,titanjum legura,legura na bazi nikla,nehrđajućih čelika i čelika za nitriranje.

Najnovija istraživanja u području tvrdih metala vrše se sa ciljem presvlačenja sa CrN,ova prevlaka ima nekoliko prednosti nad ostalim:

- Temperatura u vakumu pri postupku presvlačenja je 200 °C.
- CrN presvlake imaju veliku termičku stabilnost do 800 °C i otpornost protiv korozije

- Alat presvučen sa CrN može se koristiti za obradu bakra,aluminiuma,nikla i titan legura

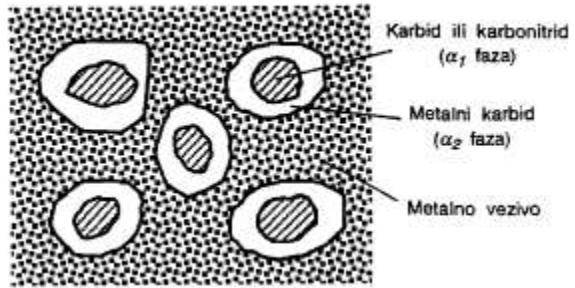


Slika 19. Višestruko presvlačenje tvrdih metala a) Tvrdi metal 73% WC-19%(Ti,Ta,Nb)C-8% Co sa TiC/TiCN/TiN prevlakom b) Tvrdi metal 85% WC-9%(Ti,Ta,Nb)C-6%Co sa TiC/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> prevlakom c) Tvrdi metal 85% WC-9%(Ti,Ta,Nb)C-6%Co sa TiC/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/TiN prevlakom i d) Tvrdi metal 88% WC-7%(Ti,Ta,Nb)C-5%Co sa donjim TiC/TiN prevlakama i sa više gornjih naizmjeničnih TiC/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> prevlaka

## 7. CERMETI

Cermet predstavlja mješavinu metala sa najmanje jedno keramičkom fazom. Pod kremičkom fazom u cermetu se podrazumijeva svaka anorganska, nemetalna kristalna veza. Ove veze su najčešće oksidi, karbidi, nitridi i njihove međusobne kombinacije. Na slici 20. šematski je prikazana struktura cermeta. Cermet je materijal dobiven praškastom metalurgijom isto kao i tvrdi metal.

Cerment nije klasičan tvrdi metal, ali nije ni klasična keramika. Cerment je rezni materijal na bazi titan karbida i titan karbonitrida u metalnoj vezivi nikla i molibdena.



Slika 20. Šematski prikaz mikrostrukture cermenta



Slika 21. Rezne pločice od cermenta

U evropi se cement manje koristi nego u SAD.U tabeli 7 prikazana je procentualna potrošnja različitih reznih materijala u Evropi i Japanu,podaci su iz 1989 godine

Tabela 5. Potrošnja različitih vrsta reznih materijala u Evropi i Japanu u 1989 godini.

Rezni materijal	Evropa	Japan
Tvrdi metal	34%	36%
Presvučeni tvrdi metal	60%	28%
Cerment	2%	33%
Rezna keramika	4%	3%

Razne karakteristike savremenih cermenta su:

- Velika otpornost protiv trošenja kako na leđnoj površini,tako i u obliku kratera na grudnoj površini,
- Velika hemiska stabilnost i tvrdoća na povišenim temperaturama
- Niska tendencija stvaranja naljepka
- Relativna otpornost protiv oksidacionog trošenja

Cermenti na bazi TiC i TiCN imaju veću otpornost protiv trošnje a i istovremeno 15 do 20 % nižu tvrdoću.Ograničavajući faktor veće primjene cermenta u operacijama grube obrade je njegova nešto niža žilavost u odnosu na tvrdi metal.Kada se radi o operacijama završne obrade, kada se koristi manje vrijednosti posmaka i veće brzina rezanja,cermeti pokazuju mnogo bolje karakteristike nego tvrdi metal.

## 8. REZNA KERAMIKA

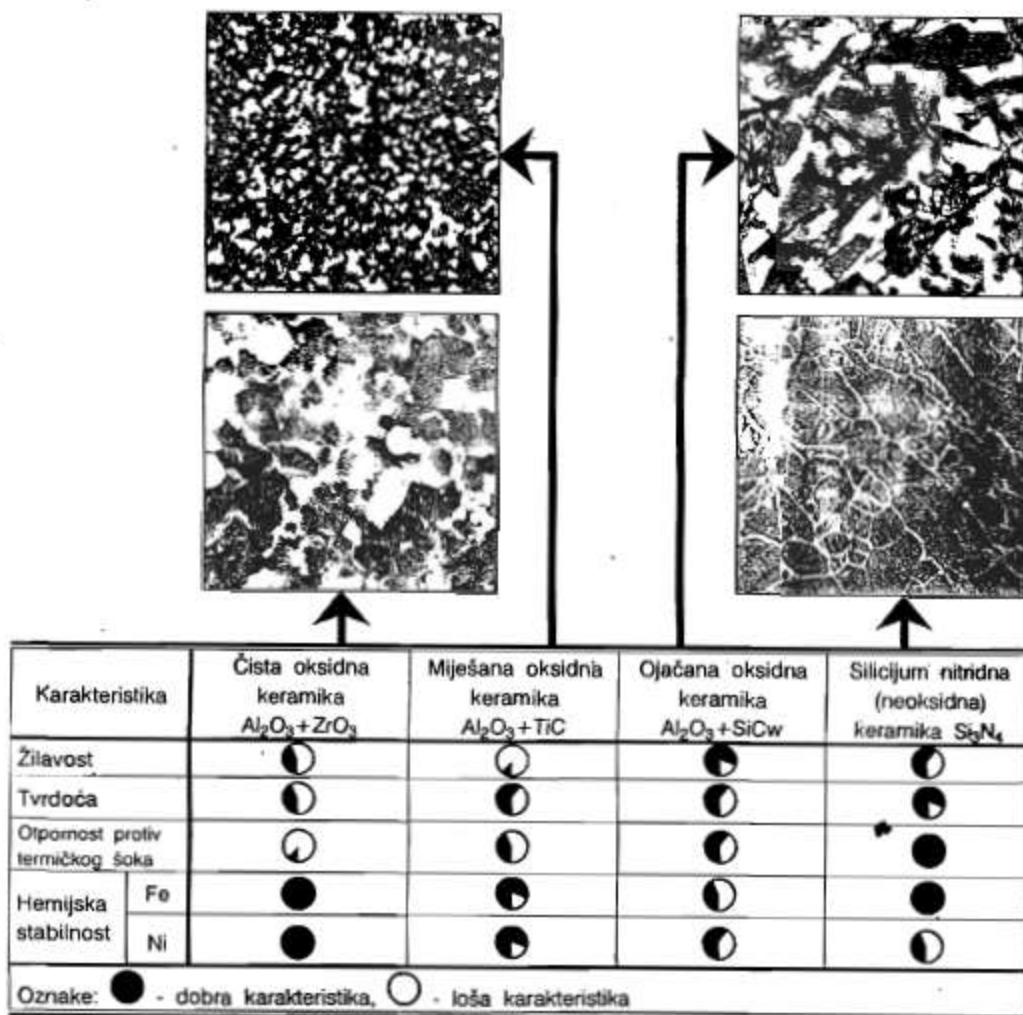
Rezna keramika predstavlja novi rezni materijal.Keramika su anorganski,nemetalni materijali dobiveni postupkom sinterovanja,keramika je proizvod praškaste metalurgije.Proizvodnja keramike se sastoji u očvršćavanju pripremljenog praha i sinterovanju sa ili bez djelovanja pritiska.Postoji dvije potpuna različite vrste rezne keramike:

- Keramika na bazi aluminium oksida( $Al_2O_3$ )-oksidna keramika
- Keramika na bazi silisijum nitrida( $Si_3N_4$ )-nitridna keramika

Oksidna keramika se dijeli na tri grupe:

- Čista oksidna keramika,sastavljena od  $Al_2O_3$  sa malim dodatkom magnezijumovog ( $MgO$ ) ili silicijumovog( $SiO$ ) oksida ili sa nešto većim sadržajem cirkonijumovog oksida( $ZrO_3$ )
- Miješana oksidna keramika, sastavljena od  $Al_2O_3$  i neoksida najčešće TiC ili TiN ili TiC i WC
- Ojačana oksidna keramika,sastavljena od  $Al_2O_3$  ojačana vlaknima silicijum karbida  $SiCw$ ,ili u obliku veze silicijum-aluminijum-kiseonik-azot:  $SiAlON$

Na slici 22. prikazani su snimci mikrostrukture čiste oksidne keramike( $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{ZrO}_3$ )miješane keramike( $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{TiC}$ ),ojačane oksidne keramike( $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{SiCw}$ ) i neoksidne keramike ( $\text{Si}_3\text{N}_4$ ) sa upoređenjem glavnih karakteristika važnih za rezne sposobnosti.



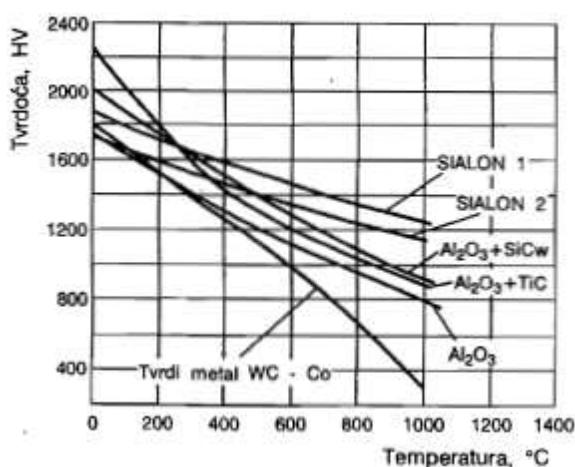
Slika 22. Komparacija u relativnom odnosu nekih karakteristika osnovnih vrsta rezne keramike sa snimcima mikrostrukture



Slika 23. Različiti oblici keramičkih reznih pločica

Jedan nedostatak tvrdih metala i cermeta a to je sklonost ka difuziji,i uopšte hemiskim reakcijama,kod keramičkih materijala je u mnogome uklonjena.Hemisku stabilnost pokazuje čista oksidna keramika i miješana keramika.

Radi boljeg sagledavanja keramike kao reznog materijala,na sli 24. je prikazan dijagram promjene tvrdoće čistog aluminijum oksida,miješane keramike,ojačane oksidne keramike,neoksidne keramike na bazi alfa i beta,neoksidne keramike na bazi beta i tvrdog metala na bazi WC –Co.



Slika 24. Promjena tvrdoće nekih vrsta rezne keramike i tvrdog metala WC-CO

U tabeli 6 prikazene su osnovne karakteristike tri tipična predstavnika bijele i sive keramike sa svojim komercijalnim oznakama

Tabela 6. Karakteristika bijele,crne i sive rezne keramike

	Gustina	Tvrdoća , HIV	Udarna Žilavostt	Pritisna čvrstoća , MPa	Toplotna provodljivost v/M *K	Modul elastičnosti
Oksidna bijela keramika AC5	4	1700	190	4000	43	380
Miješana crna keramika, MC2	4,25	2000	200	1300	38	360
Neoksidna siva keramika,NC1	3,3	1500	200	2500	36	320

Najbolje primjena je pri obradi čelika,sivog liva,legura na bazi nikla,kao i mnogi neželjezni legura i kompozitnih materijala.

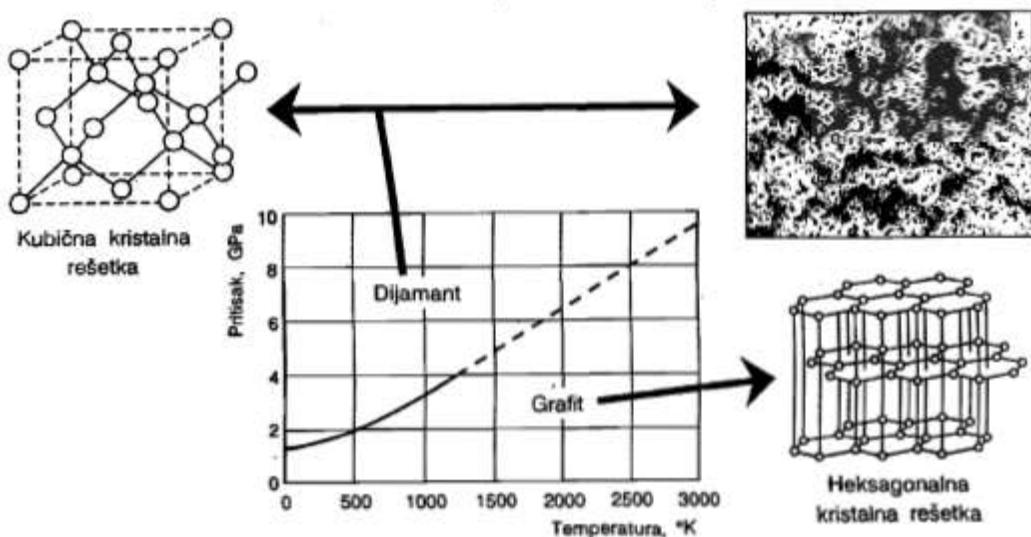
U tabeli 7 date su neke opšte preporuke za primjenu osnovnih vrsta rezne keramike

Tabela 7. Primjena osnovnih vrsta rezne keramike

Materijal obratka	Čista oksidna keramika Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +ZrO <sub>3</sub>	Miješana oksidna keramika Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +TiC	Ojačana oksidna keramika Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +SiC w	Sicilij nitridna keramika Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub>
Sivi liv	++	++	NE	++
Vatrootporne legure	NE	++	++	NE
Kaljeni čelici	NE	++	++	NE
čelici	+	+	+	NE
Oznake +-+ veoma uspešno,+manje uspešno				

## 9. SUPERTVRDI REZNI MATERIJALI

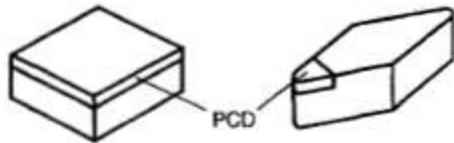
Najtvrdi poznati prirodni materijal je dijamant. Ono što ograničava veću upotrebu dijamanta kao reznog materijala je njegova visoka cijena ali dijamant ima nekoliko nedostataka. Pored toga što je tvrd i otporan na trošenje dijamant ima veliku krtost i nisku čvrstoću na smicanje. Dijamant se koristi pri obradi aluminijum legura, legura bakra, abrazivnih plastika, prirodnog kamena, itd. Dijamant je ugljenikova modifikacija u obliku kubične kristalne rešetke. Postojan je do temperature 1300 stepeni ceuziosa kada prelazi u drugu modifikaciju - grafik-heksagonalnu rešetku slika 25. Na atmosferkom pritisku na povećanoj temperaturi prirodni dijamant se deformiše u potpuno različit materijal - grafit. Moguće je iz ugljenika proizvesti vještački dijamant sinterovanje na temperaturi od 2500 stepeni ceuziosa i pritisku oko 10000 MPa, tako dobijen dijamant naziva se Polikristalni dijamant.



Slika 25. Dijagram ravnotežnog stanja grafita i dijamanta sa prikazima heksagonalne strukture grafita, kubične strukture dijamanta i mikrostrukture PCD-a

Polikristalni dijamant se koristi kao rezni materijal za abrezivne postupke obrade gdje se na disk od jeftinog materijala nanosi tanki sloj PCD – a sa vezivom

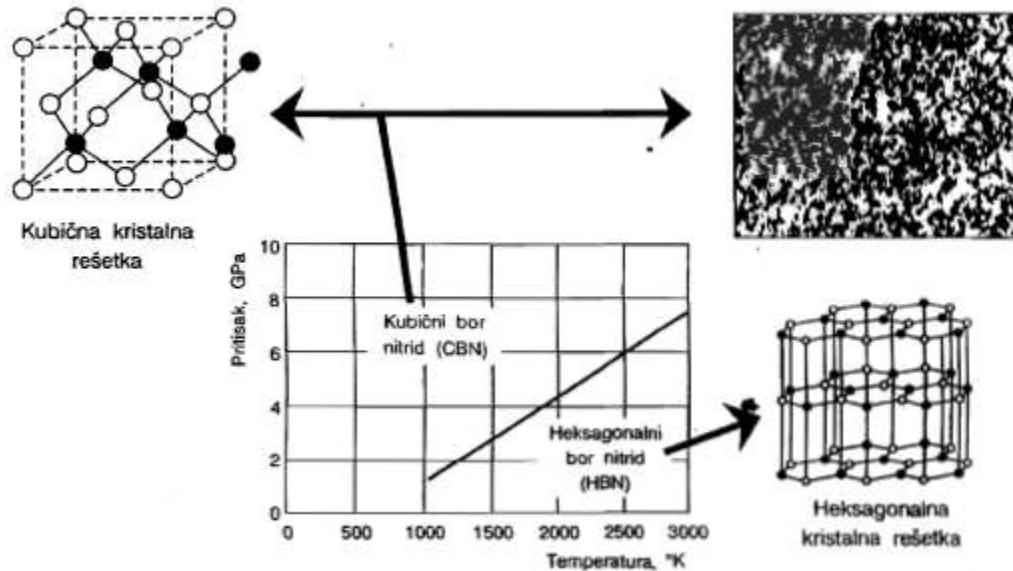
Samo jedan dio rezne pločice se izrađuje od PCD-a, a drugi najčešće od tvrdog materijala slika 26.



Slika 26. Vrste reznih pločica od polikristalnog dijamanta

Polikristalni dijamant se koristi za obradu aluminijumam i njegovih legura,naručito Al-Si legura,magnezijuma i njegovih legura ,bakra i njegovih legura,cinka i titana i njihovih legura,platine,srebra te nemetalnih materijala kao što su tvrda guma,vulkanizirani fiber,bakelit,duroplati i termoplasti,azbest te konačno tvrdog metala i keramike.

Drugi super tvrdi materijal na bazi Bor nitrida koji ima dvije modifikacije:oksagonalni born nitrid i kubični bor nitrid (slika 27)



Slika 27. Dijagram ravnotežnog stanja kubičnog i heksagonalnog bor nitrida sa prikazom kristalnih rešetki i mikrostrukturom CBN-a

Na slici 27. vidi se linija transformacije heksagonalnog u kubični bor nitrid,sa strukturama sličnim kao u slučaju PCD-a

Postupkom sinterovanja na visokim temperaturama i pritiscima se na vještački način može dobiti kubični bor nitrid.Primjena kubičnog bor nitrida kao rezanog materijala je dvije varijante:kao abrazivni prah za proizvodnju brusnih tocila i u obliku reznih pločica.Postoji više komercijalnih vrsta kubičnog bor nitrida npr Borazon,Amborite,Elbor,Kubonit i td.

Kod postupka obrade sa alatima definisane geometrije,CBN rezne pločice se koriste za obradu alatnih čelika,tvrdih livova,perlitnog sivog liva,površinskih otvrdnutih legura,površinskih otvrdnutih čelika i sivog liva.

Na kraju kao zaključak ove tačke u tabeli 8 date su opšte preporuke za upotrebu svih reznih materijala pri obradi nekih glavnih grupa konstrukcionih materijala.

Tabela 8. Opšte preporuke za upotrebu reznih materijala

REZNI MATERIJAL	Čelik	Visoko legirani čelik	Sivi liv	Neželjezni metali	Specijalni materijali	Tvrdi materijali
<b>Brzorezni čelik</b>						
Standardni	+	+	+	+	+	NE
Standardni	+	+	+	+	+	NE
Presvučeni	+	+	+	+	+	NE
Sinterovani	+	+	+	+	+	NE
Sinterovani	+	+	NE	NE	+	NE
<b>Tvrdi metal</b>						
Nepresvučeni,P	++	+	NE	NE	+	NE
Nepresvučeni,M	+	++	+	NE	NE	NE
Nepresvučeni,K	NE	NE	++	+	NE	NE
Nepresvučeni,K	NE	NE	+	++	NE	NE
Presvučeni,P	++	+	+	NE	+	NE
Presvučeni,K	NE	+	++	NE	NE	
Cermet	++	+	+			
<b>Rezna keramika</b>						
Oksidna	+	NE	++	NE	NE	+
Miješana	+	NE	++	NE	NE	+
Ojačana vlaknima	+	+	+	NE	++	NE
Nitridna	NE	NE	++	NE	NE	NE
<b>Supertvrdi rezni materijali</b>						
CBN	NE	NE	+	NE	NE	++
PCD	NE	NE	NE	++	NE	NE

Oznake ++ prioretna upotreba,+ moguća upotreba,NE - ne upotrebjava se

## **10. Zaključak**

Zadatak inžinjera je primjeniti stečene vještine i znanje u svrhu rješavanja tehničkih problema koji se postavljaju pred njih u okviru datih ograničenja, kao što je tehnologija izrade, odabir materijala, te da se zadovolje ekonomski zahtjevi.

Postupkom obrade odvajanja čestica 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.

U radu je prikaza tablica i predložaka prema kojima bi se mogla približno odrediti kvaliteta površina tj materijal reznog alata za određeni proces obrade i sa određenim režimima obrade, bez da se prije toga moraju provoditi stvarni pokusi.

**Literatura:**

1. Obrada rezanjem,Dr.Sabahudin Ekinović,Zenica 2001.godine
2. Postupci obrade rezanjem,Dr.Sabahudin Ekinović,Zenica 2003 godine
3. Grupa autora:Definisanje kvaliteta reznog alata,Alatničar No.11,Fra,Čačak 1986 godina
4. Kalajdžić M.Tehnologija mašinogradnje 1, Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet,1981 godina
5. Grupa autora: Inžinjersko tehnički priručnik V-dio, Obrada, montaža, tehnologija Beograd 1976 godina