



Srednja strukovna škola Velika Gorica
REGIONALNI CENTAR KOMPETENTNOSTI
U STRUKOVNOM OBRAZOVANJU U STROJARSTVU

Industrija 4.0




Rezni alati u strojnoj obradi

Od brzoreznog čelika do dijamantata

Predavač: Stjepko Bašić, dipl. ing. strojarstva
Velika Gorica, 2.4.2026.





Srednja strukovna škola Velika Gorica
REGIONALNI CENTAR KOMPETENTNOSTI
U STRUKOVNOM OBRAZOVANJU U STROJARSTVU

Industrija 4.0

Sadržaj:

- Kratka povijest reznih alata
- Materijali obratka
- Brzorezni čelik
- Tvrdi metal
- Cermet
- CBM
- PCB

Predavač: Stjepko Bašić, dipl. ing. strojarstva
Velika Gorica, 2.4.2026.



Kratka povijest reznih alata

- princip rezanja jedna je od najranijih i najdubljih ideja koje su nas obilježile kao vrstu
- upotreba oštrica omogućila je ljudima preoblikovanje i pokoravanje prirode



- prva zabilježena upotreba oštih predmeta seže 2.6 milijuna godina u prošlost
- homo habilis, rana vrsta ljudi, koristio je grubi alat od odlomljenog kamena, za sječenje mesa i kože.
- ali još važnije taj primitivni alat omogućio je razvoj naprednijih alata.



- otkrivanje i upotrebu novih materijala pratio je i razvoj novih alata



- bakreno doba 3500 – 2300 prije nove ere
- bakar je lako dostupan u prirodnom obliku ali ima loša mehanička svojstva

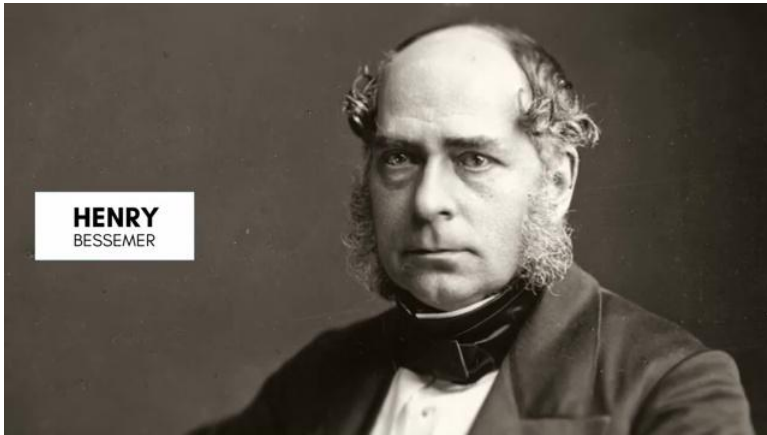


- brončano doba 1200 – 1000 prije nove ere
- razvoj metalurgije
- bronca je slitina bakra i kositra znatno boljih svojstava od bakra

- otkrivanje i upotrebu novih materijala pratio je i razvoj novih alata



- željezno doba 1200 prije nove ere do danas
- razvoj metalurgije željeza
- upotreba željeza i čelika



- 1856. godine Henry Bessemer razvio je brz i jeftin postupak proizvodnje čelika
- kasnije usavršavanje ovog procesa dovelo je do povećanja proizvodnje čelika i pada cijene za 80%

- nakon što je početkom 20. stoljeća počela masovna upotreba čelika razvijene su nove tehnike obrade zasnovane prvenstveno na rezanju
- rezanje čelika zahtijeva:
 - visoku krutost strojeva i alata,
 - preciznu kontrolu
 - velike sile
- kako bi se savladali ovi izazovi razvijeni su alatni strojevi koji mogu primijeniti velike sile rezanja istovremeno čvrsto držeći predmet.



Zahtjevi prema materijalu reznog alata:

- ***tvrd***, otporan na trošenje bočnih stranica i deformacije
- ***žilav***, otporan na lomljenje
- ***kemijski inertan***, ne smije kemijski reagirati s materijalom izratka
- ***kemijski stabilan***, otporan na koroziju i difuziju
- ***toplinski stabilan***, otporan na iznenadne promjene temperature



- Materijal alata odabire se prema grupi materijala obratka.
- Za potrebe strojne obrade odvajanjem čestica materijali su razvrstani u šest grupa prema obradivosti.
- Svaka grupa označena je slovom i bojom



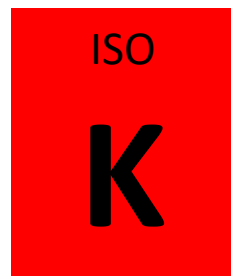
čelik

sve vrste čelika i lijevanog čelika,
osim nehrđajućeg čelika s
austenitnom strukturom



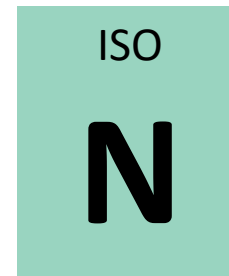
nehrđajući čelik

nehrđajući austenitni čelik,
nehrđajući feritni čelik i lijevani
čelik



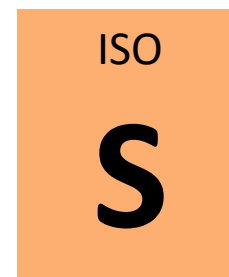
lijevano željezo

lijevano željezo s lameliranim
grafitom,
lijevano željezo s kuglastim
grafitom, popušteno lijevano
željezo



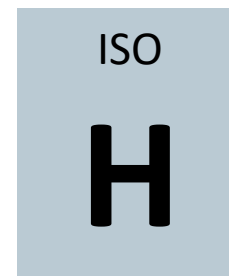
legure aluminija

aluminij i drugi neželjezni metali,
nemetali



specijalne legure i titan

visokotemperaturne specijalne legure
na bazi željeza, nikla, kobalta i titanij



tvrdi materijali

kaljeni čelik, očvrsnuto lijevano željezo,
popušteno lijevano željezo

- Materijal za koji je rezna pločica namijenjena označen je na pakiranju



Pregled reznih materijala za strojnu obradu

Konvencionani i tvrdi metali

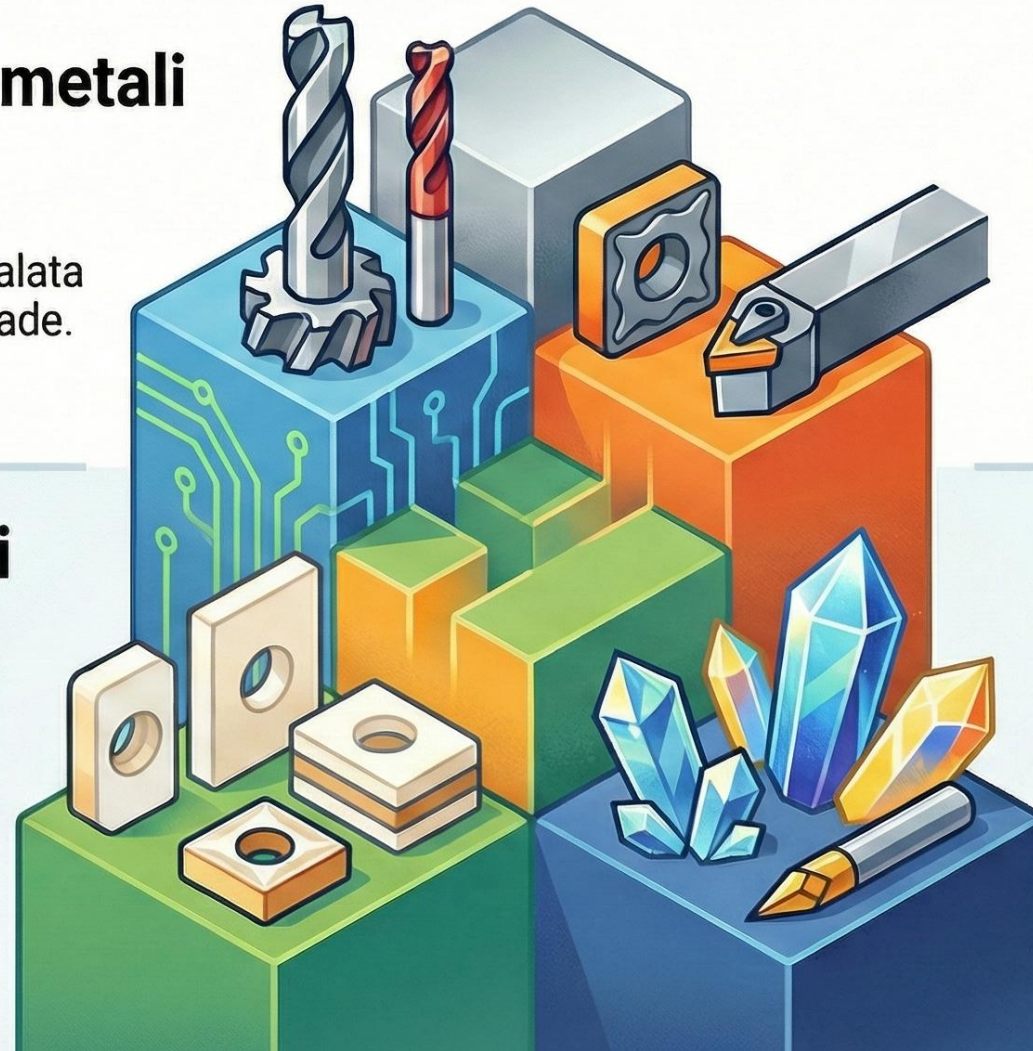
Alatni i brzorezni čelici

Osnovni materijali za izradu reznih alata u standardnim uvjetima strojne obrade.

Keramika i super tvrdi materijali

Rezna keramika

Obuhvaća oksidnu, kompozitnu i silicij-nitridnu keramiku za visoke temperature rezanja.



Tvrđi metali (WC-Co)

Karbidni materijali s kobaltnim vezivom, uključujući varijante s titanom i niobijem.

Super tvrdi materijali

Najviša razina tvrdoće postignuta upotrebom bor nitrida i dijamanta.

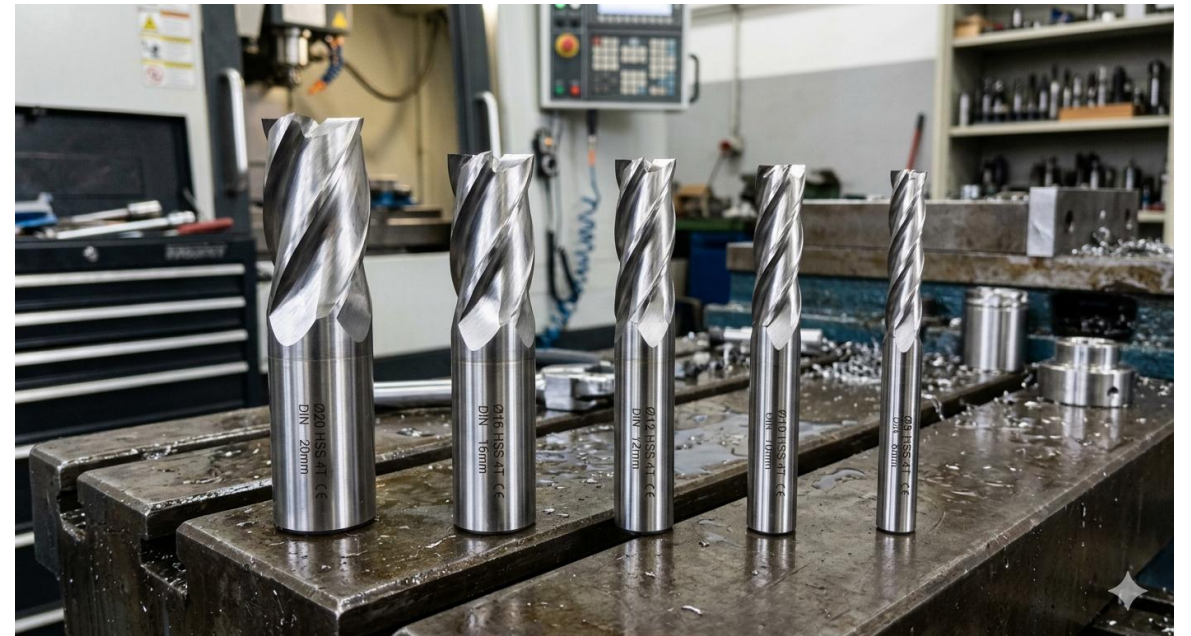
Brzorezni čelik

Brzorezni čelik (eng. High Speed Steel – HSS)

Pojavilo se početkom 20. stoljeća (Taylor i White, 1900.) i doslovno su "ubrzali" industriju.

Ključna karakteristika:

- za razliku od običnih alatnih čelika koji gube tvrdoću već na 200 – 300 °C, HSS ju zadržava do otprilike 600°C.



Kemijski sastav brzoreznog čelika:

Osnovu čini željezo (Fe), uz dodatak više legirnih elemenata:

- **Ugljik (C):** ~0,7 – 1,5 %
 - povećava tvrdoću i otpornost na trošenje
- **Volfram (W):** ~6 – 18 %
 - daje tzv. *crvenu tvrdoću* (zadržavanje tvrdoće na visokim temperaturama)
- **Molibden (Mo):** ~0 – 10 %
 - poboljšava žilavost i otpornost na toplinsko omekšavanje
- **Krom (Cr):** ~3 – 5 %
 - povećava kaljivost i otpornost na koroziju
- **Vanadij (V):** ~1 – 5 %
 - formira tvrde karbide - povećava otpornost na trošenje
- **Kobalt (Co):** ~0 – 12 % (nije uvijek prisutan)
 - dodatno povećava otpornost na visoke temperature

Brzorezni čelik (eng. High Speed Steel – HSS)

- **prednosti:**
 - alat je jeftiniji u odnosu na alate od tvrdog karbida ili keramike
 - HSS je osnovni alatni čelik za operacije strojne obrade i pojedinačnu proizvodnju na klasičnim strojevima
 - izuzetno su žilavi (teško pucaju)
 - lako se bruse običnim brusnim pločama.
 - danas se najčešće koriste za svrdla, ureznike i složene alate za obradu drva ili plastike.



Brzorezni čelik (eng. High Speed Steel – HSS)

- **nedostaci:**

- manje postojan na visokim temperaturama
- relativno male brzine rezanja i posmaci što ne zadovoljava zahtjeve suvremene strojne obrade
- ne mogu se obrađivati suvremeni materijali poput:
 - **kaljenih materijala** i tvrdih ljevova (50 – 60 HRC) jer su vrlo blizu tvrdoće HSS
 - **superlegura** na bazi nikla i kobalta (Inconel, Hastelloy) koriste se u mlaznim motorima i nuklearnim postrojenjima – loše provode toplinu pa se ona zadržava na vrh alata
 - **kompozitni materijali** (CFRP - Karbonska vlakna) – vlakna djeluju abrazivno
 - **titanij i njegove legure** – titanij se zavaruje za HSS

HSS alati s presvlakom:

- Prevlake su slojevi keramičkih materijala, debljine 2 do 5 mikrona koji se nanose postupcima poput PVD (Physical Vapor Deposition) i CVD (Chemical Vapor Deposition).
- Poboljšavaju svojstva alata:
 - povećavaju površinsku tvrdoću alata
 - stvaraju toplinsku barijeru
 - smanjuju koeficijent trenja
 - povećavaju kemijsku stabilnost
- omogućuju nešto veće brzine rezanja
- skuplji od običnog HSS
- brzine rezanja daleko ispod brzina alata od tvrdih karbida



HSS alati s presvlakom:

- primjenjuju se presvlake od:
 - TiN (titanij-nitrida, zlatne boje) za laku grubu obradu i završnu obradu čelika, obojenih metala i plastike. Otporan na trošenje i temperature do 600°C



- TiCN (titanij-ugljik-nitrid, plavo-siva boja) otporni na trošenje, primjenjuju se kada je abrazija glavni problem.



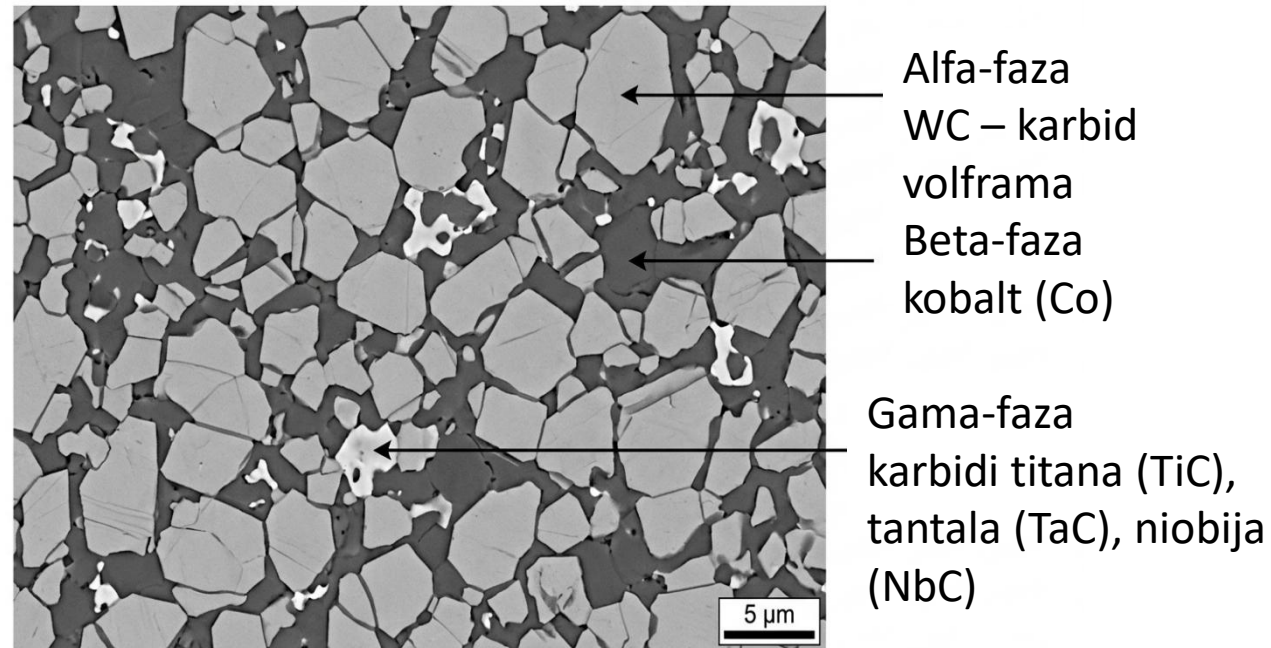
- TiAlN (titanij – aluminij – nitrid, ljubičasto-brončane boje) površinska tvrdoća 3500HV, mogu izdržati temperature do 800°C i pogodni su za suhu obradu nehrđajućih čelika.



Tvrđi metal

Tvrđi metali (*eng. cemented carbide*)

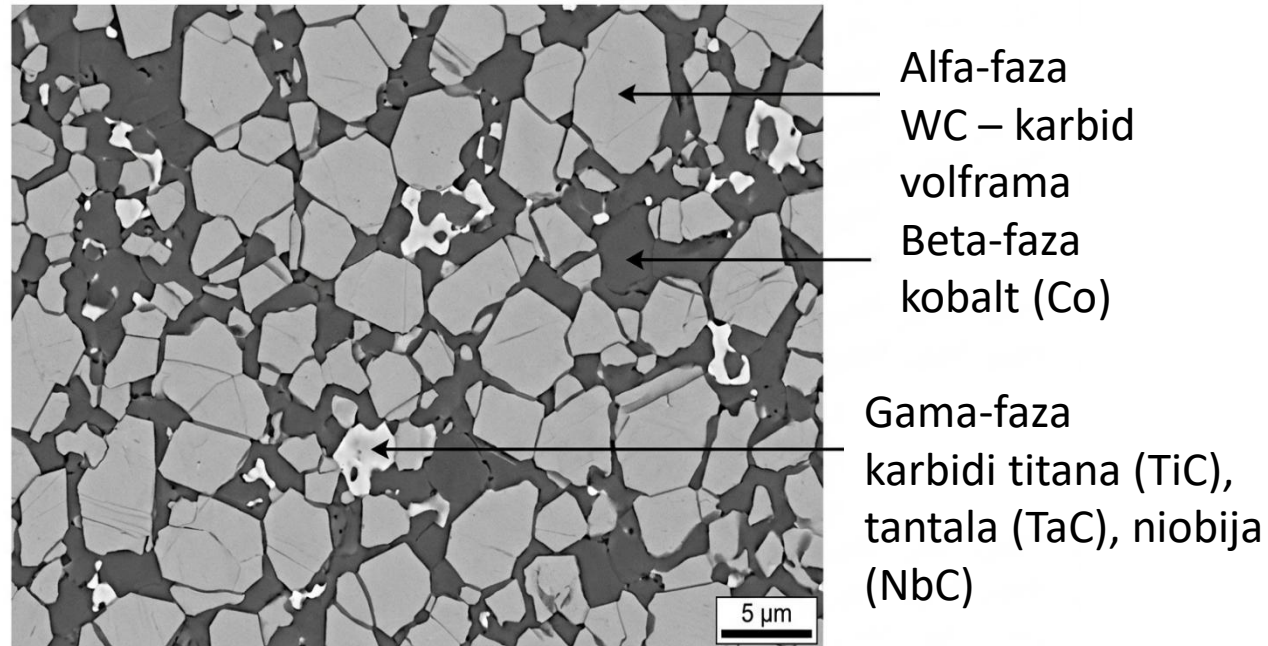
- preokret u razvoju reznih materijala dogodio se 1920-ih godina (razvoj u tvrtki Krupp, pod nazivom Widia - njem. Wie Diamant / "poput dijamanta").
- Proizvodnja: ne dobivaju se taljenjem, već metalurgijom praša (sinteriranjem).



promjer vlati kose 50 – 70 μm

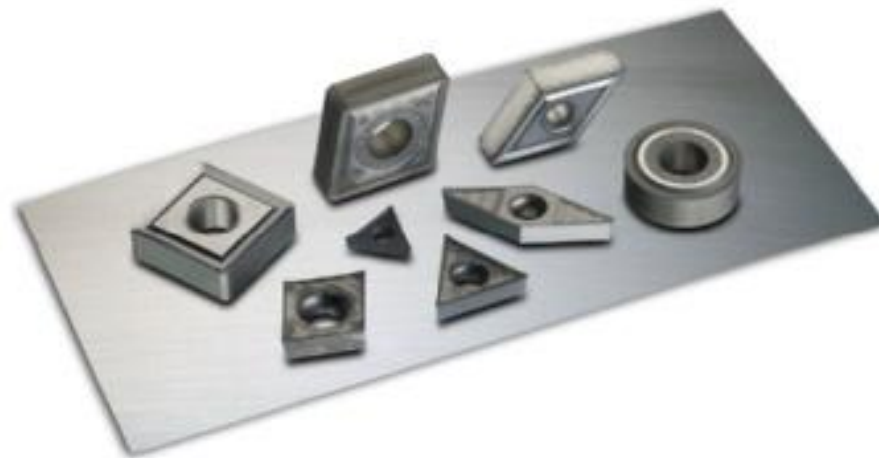
Tvrđi metali (*eng. cemented carbide*)

- Sastav: čvrste čestice volframovog karbida (WC) povezane metalnim vezivom, najčešće kobaltom (Co).
- Karakteristike: Mogu izdržati temperature do 1000°C. Omogućuju 3 do 5 puta veće brzine rezanja u odnosu na HSS. Izuzetno su tvrdi, ali i znatno krhkiji od čelika (osjetljivi su na udarce).



promjer vlati kose 50 – 70 μm

- Pri izboru alata od tvrdih metala potrebno je:
 - osigurati dovoljnu krutost alata i vretena
 - malo odstupanje od kružnosti vrtnje kako zbog krutosti materijala ne bi došlo do loma oštrice
 - pažljivo upotrebljavati alate jer su puno osjetljiviji na otkidanje dijelova oštrice od HSS alata.



Izvedbe tvrdometalnih alata

Alati od tvrdih metala

puni tvrdometalni
alati



alati s lemljenom
pločicom



alati s izmjenjivom
pločicom



Tvrđi metali bez presvlake

- koriste se za umjerene do teške uvijete obrade čelika, vatrootpornih super legura, titanija, lijevanog željeza i aluminija
- alati se izrađuju za tokarenje, glodanje i bušenje
- dobra kombinacija otpornosti na abraziju i žilavosti
- imaju oštre rezne bridove
- dobra sigurnost oštrice ali ograničena otpornost na trošenje pri višim brzinama obrade
- mali udio u ukupnoj proizvodnji reznih pločica

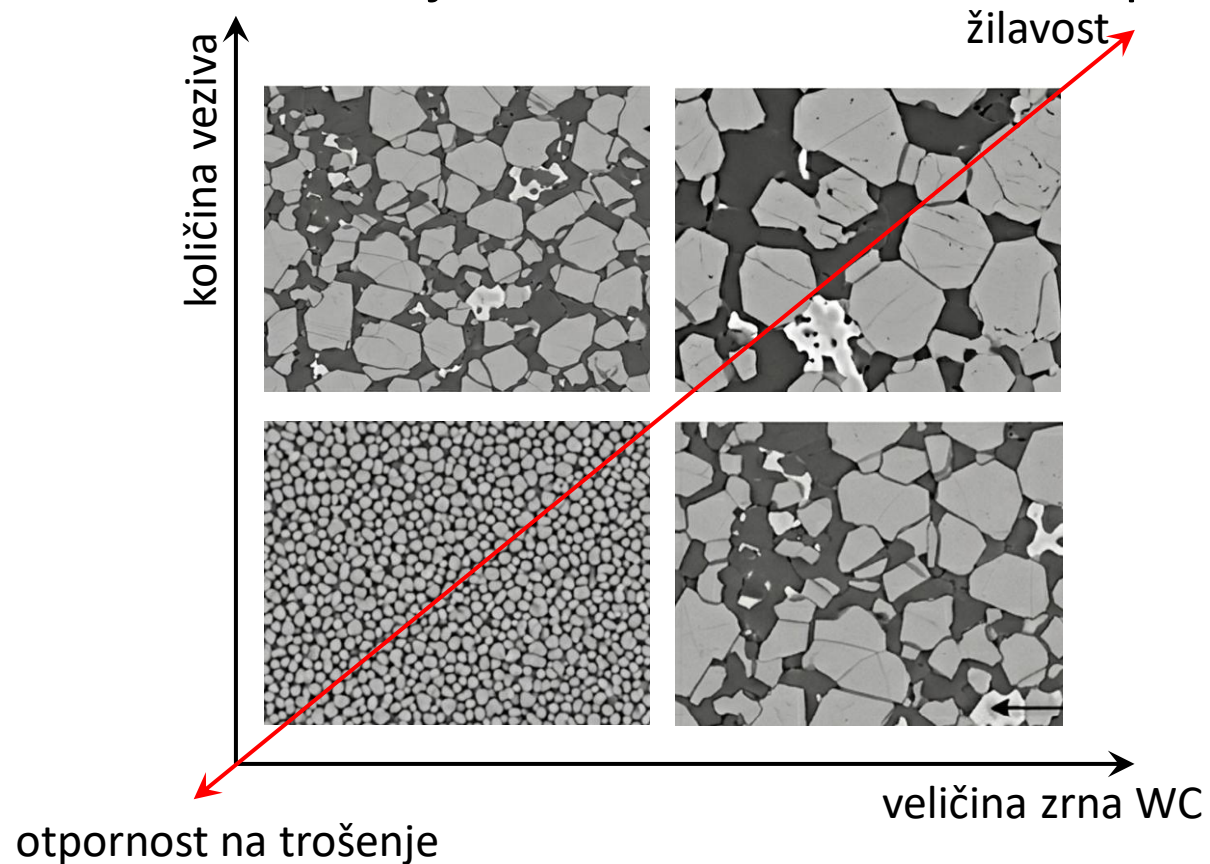


Kako bi se povećala otpornost na trošenje potrebna kod visoko brzinske obrade, a istodobno postigla i dobra žilavost, na rezne bridove alata nanosi se tanki sloj:

- TiC – titanij-karbida
- TiN – titanij-nitrida
- TiCN – titanij ugljiknitrida
- Al₂O₃ – aluminij oksida

Tvrdi metali s presvlakom

- za opću upotrebu i obradu svih materijala tokarenjem, glodanjem i bušenjem
- izuzetno dobra kombinacija otpornosti na trošenje i žilavosti
- velika raznovrsnost kvalitete pločica od tvrdih do žilavih supstrata, uobičajeno s gradiranim sinteriranjem i različitim CVD ili PVD presvlakama



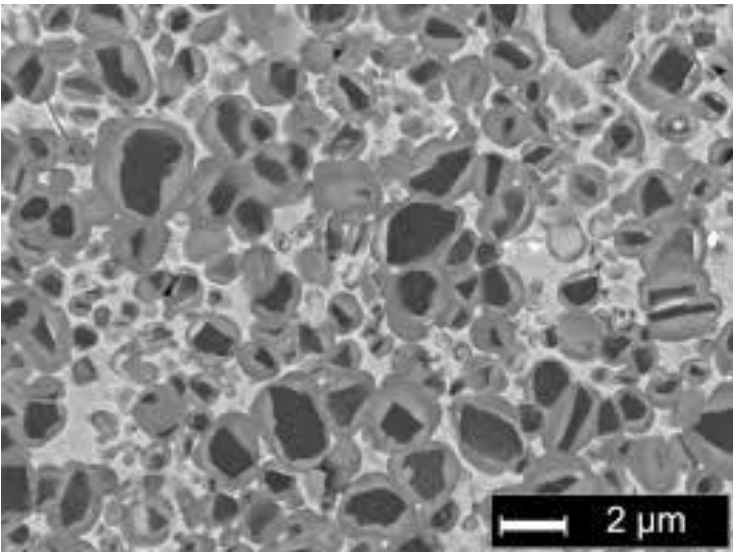
- kombiniraju dobru otpornost na trošenje s dugim životnim vijekom alata.
- dominantne pločice u proizvodnom programu s trendom povećanja



Cermet

Cermet

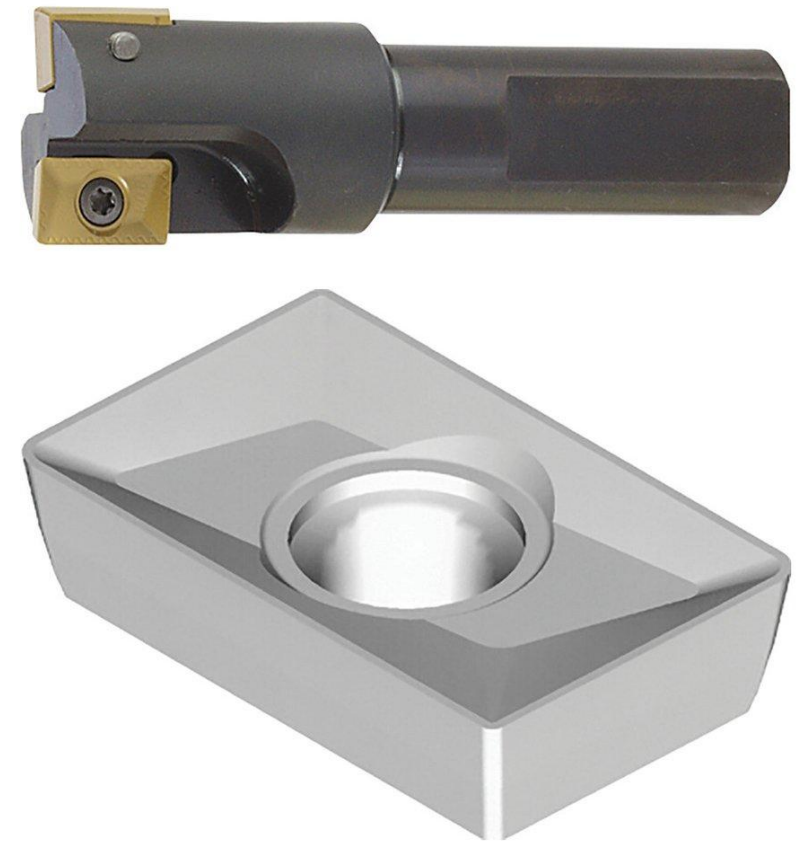
- slična struktura kao i tvrdi metali
- čestice tvrdog materijala nalaze se u matrici Co (kobalta) i Ni (nikla)
- tvrdi materijali su karbonitridi titana (Ti) s različitim omjerima tantala (Ta), volframa (W) i ponekad molibdena (Mo)
- čvrstoća je usporediva s karbidima
- značajno otporniji na koroziju



- Prednost cermata je:
 - zadržavanje visoke tvrdoće pri visokima temperaturama
 - kemijska stabilnost
 - visoka otpornost na trošenje
 - dobra kvaliteta površinske obrade



- Nedostaci:
 - manje čvrsti od tvrdih metala (volfram-karbida)
 - manji ostvarivi posmaci
- Primjenjuju se za obradu:
 - ugljičnih čelika
 - legiranih čelika
 - nehrđajućih čelika
 - lijevanog željeza.
- PVD presvlaka dodaje otpornost na trošenje alata
- alati posjeduju karakteristiku samooštrenja

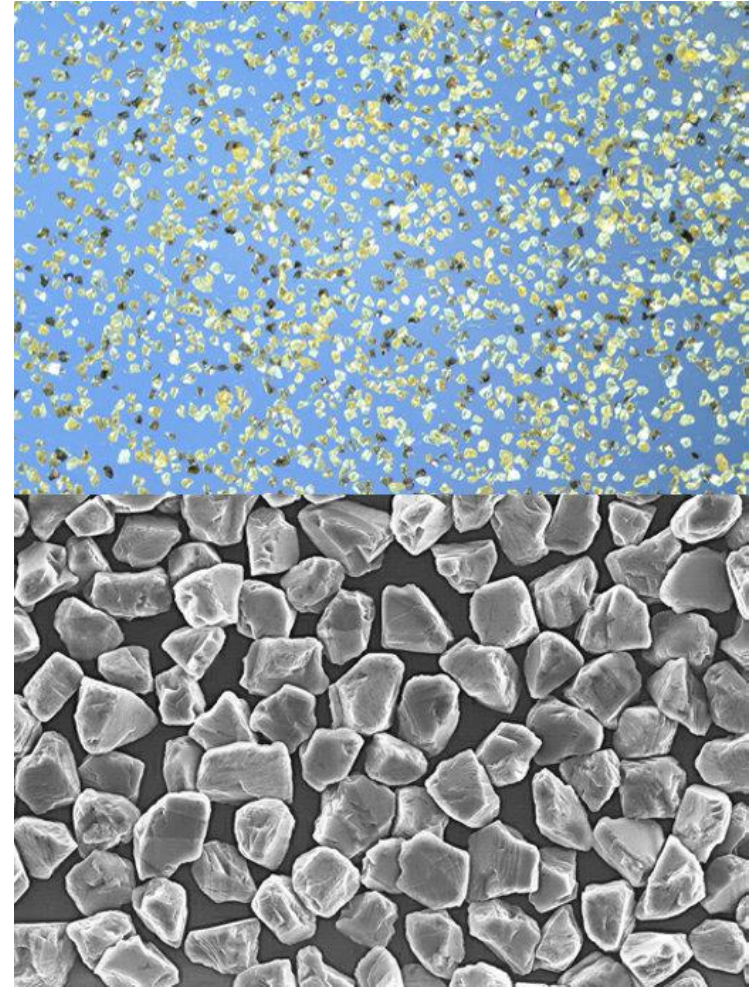


Karakteristika	Tvrđi metal (WC-Co)	Cermet (TiCN/TiC)
Glavni element	Volfram (W)	Titanij (Ti)
Žilavost	Visoka (otporan na udarce)	Niska (osjetljiv na udarce)
Otpornost na toplinu	Dobra	Izvršna
Kvaliteta površine	Standardna	Vrhunska (često nije potrebno brušenje)
Primjena	Grublja obrada, teški uvjeti	Završna obrada (finishing), visoke brzine

CBM (cub bor nitride)

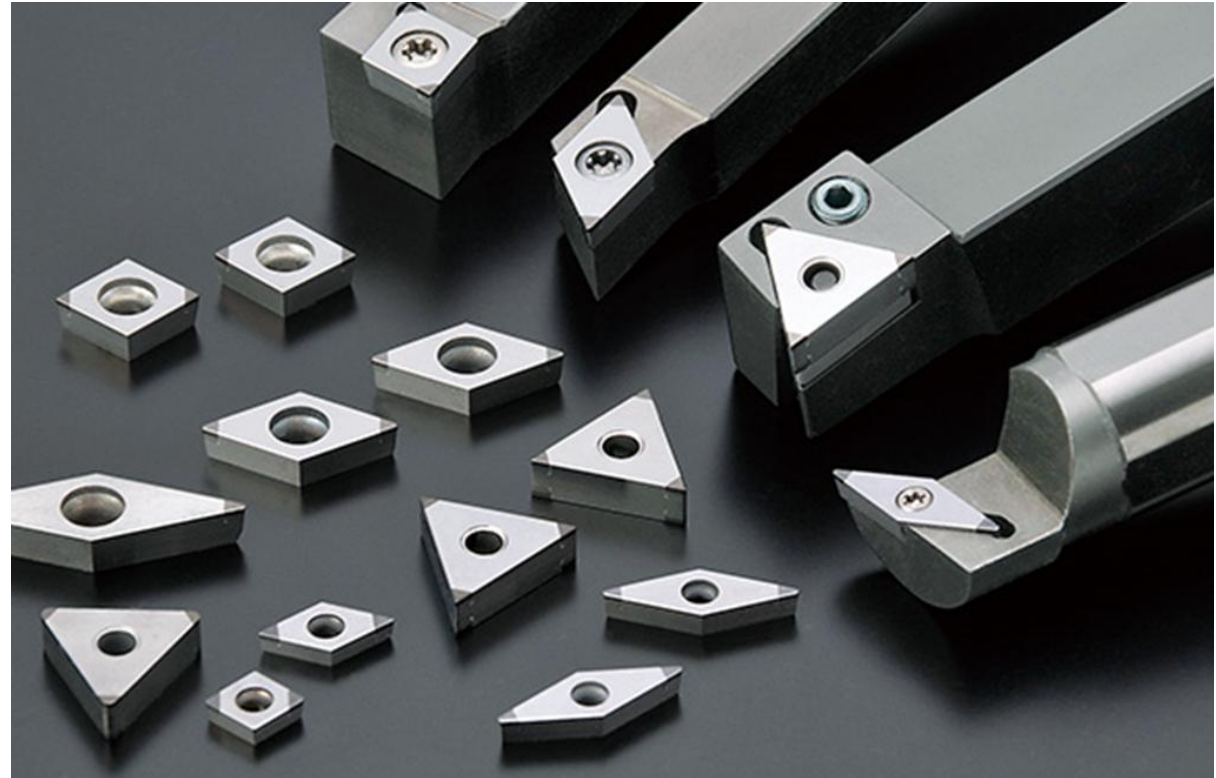
CBM (cub bor nitride)

- najtvrđi materijal poslije dijamanta
- nanosi se na pločice tvrdog metala postupkom sinteriranja
- visoka otpornost na trošenje
- zadržava dobra svojstva na visokim temperaturama (do 1300°C)



Prednosti CBN alata

- pogodan za visoko brzinsku obradu sinteriranih tvrdih materijala, kaljenog čelika, lijevanog željeza i aluminijevih super legura
- pri visokobrzinskoj obradi smanjuje vrijeme, a time i trošak izrade
- postiže se dobra kvaliteta površinske obrade pa nije potrebno brušenje
- mogućnost obrade bez korištenje sredstva za hlađenje i podmazivanje



Nedostaci CBN alata:

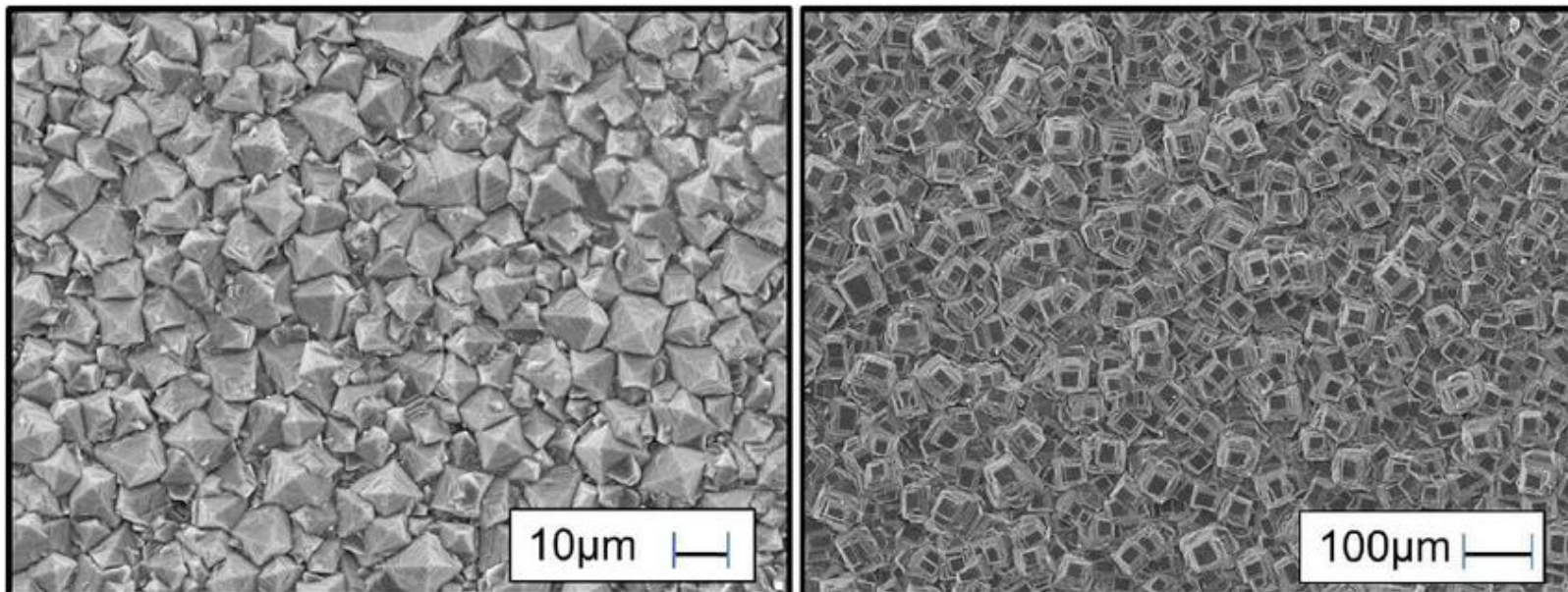
- mala žilavost – velika krutost
- mala otpornost na toplinski umor
- visoka cijena



PCD (polikristalni dijamnat)

PCD (polikristalni dijamnat)

- izvanredna kombinacija kemijskih, fizikalnih i mehaničkih svojstava
- niski koeficijent trenja
- visoka otpornost na koroziju
- Nedostaci
 - zbog velikog kemijskog afiniteta ugljika i željeza, pri obradi željeznih materijala dijamantom dolazi do brzog trošenja alata.

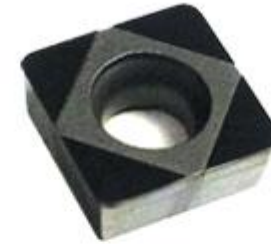


PCD alat pogodan je za obradu:

- aluminiija i aluminijevih legura
- magnezija i njegovih legura
- bakra i bakrenih legura
- cinka i njegovi legura
- titanij i legura titanija
- nemetalnih materijala, tvrde gume, duromera, drva



Full Top PCD Insert
with screw hole



Four Corner tipped
PCD Insert



PCD Tipped Toolbits -
Carbide Body



PCD Tipped Cartridge



ZG-TERNEKA
544K08 5/80
O-C00
G 6000
G 0000
TG-2.00 A.0
TR 3309 A.5
ER 0200
TER 8Y YAUR9
ISP 85T3 965
Z55 03
ZRX 0800 AND 00900

Status	
rtc:	6-8.20
nd	6-8.00
otte	1.69
c	4.835

50aft SLOtus 590Hz

IP 8005 8000
CPU
006

R2
1 2 3
4 5 6
7 8 9
0

ZG-TEHNIKA

