

TERMIČKA OBRADA SAVREMENIH ALATA

Prof. dr Branko Škorić

Doc. dr Lazar Kovačević

Doc. Dr Pal Terek

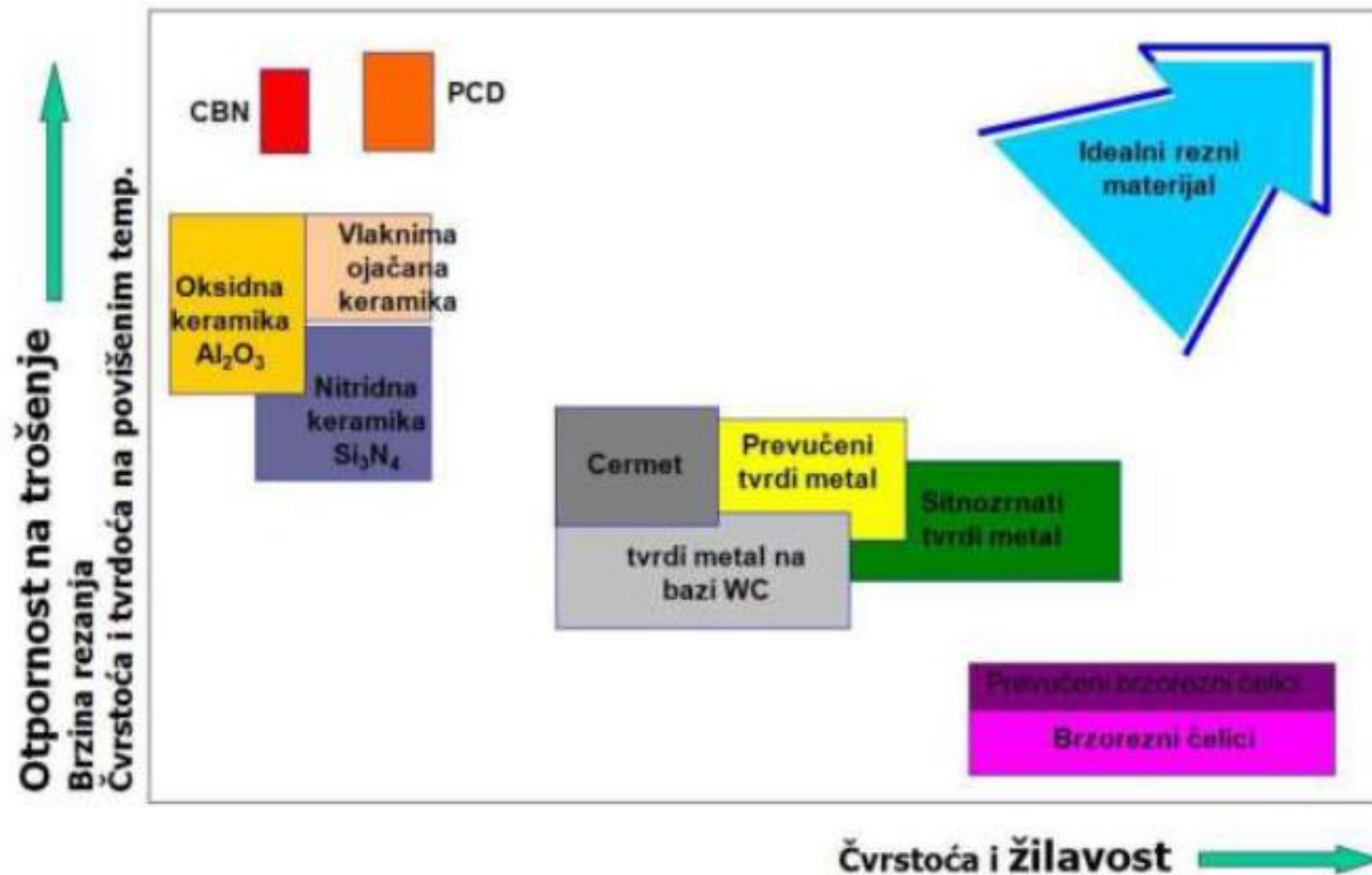
ALATNI ČELICI

- Upotreba raznih alata potiče od samih početaka ljudske civilizacije. Prvi korišteni alati bili su kamena sekira, kameni nož te svi ostali predmeti koje je čovek koristio u svakodnevnom životu. Prije 5000 godina započinje upotreba alata izrađenog od meteoritskog željeza. Kasnijim kontaktom u vatri takvog željeza sa sredstvom za naugljeničavanje nastaju prvi alati od čelika. Alat predstavlja svako sredstvo kojim čovjek olakšava ili omogućava izvršenje željene radnje bilo neposredno, snagom ruke, bilo posredno snagom neke mašine.

PRAVAC RAZVOJA KOD ČELIKA

- Razvoj modernih industrijskih alata doživljava tehnološku revoluciju u drugoj polovini 19. veka. U tom razvoju najvažnije je istaknuti sledeće godine:
- 1868 g. MUSHET-ov čelik (2% C, 7% W, 2,5% Mo),
- 1898 g. TAYLOR-WHITE-ov brzorezni čelik (1,85% C, 3,8% Cr, 8% W),
- 1904 g. J. A. MATHEWS - brzorezni čelik s vanadijumom,
- 1910 g. razvoj volframovih čelika za rad na toplo,
- 1912 g. dodatak kobalta u alatne čelike,
- 1930 g. započinje razvoj brzoreznih čelika legiranih molibdenom.

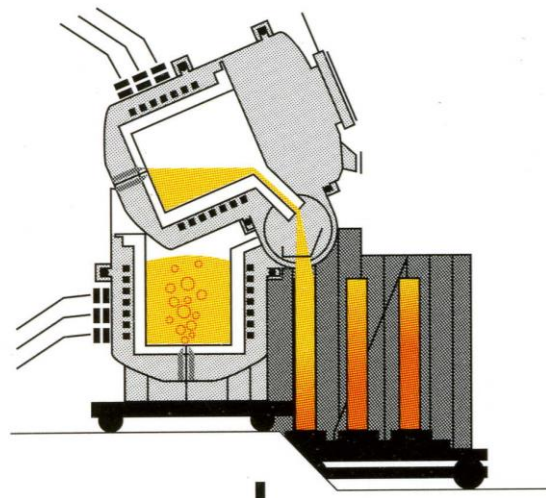
Karakteristike materijala za alate



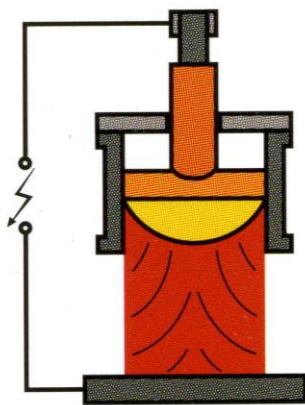
Proizvodnja čelika

- Proizvođači alata su veoma inertni i teško se odlučuju za promenu materijala, ako se prethodni alat dobro pokazao. Stalno javlja potreba za alatima koji do tada nisu bili proizvođeni i za radne uslove koji nisu ranije postojali. Naravno da se eksploatacioni uslovi sve više pooštravaju.
- Proizvođači čelika su osvojili neke potpuno nove tehnologije proizvodnje čelika koje do nedavno nisu imale širu primenu. Tu se pre svega misli na:
 1. Topljenje pod vakumom i pretapanje pod šljakom (ESR)
 2. Topljenje pod vakumom i naknadno pretapanje pod vakuumskim lukom VAR
 3. Topljenje pod vakuumom, pretapanje pod šljakom ESR i završno pretapanje pod vakuumskim lukom VAR.
 4. Proizvodnja čelika sa tehnologijom praha – danas već treća generacija ovih čelika.

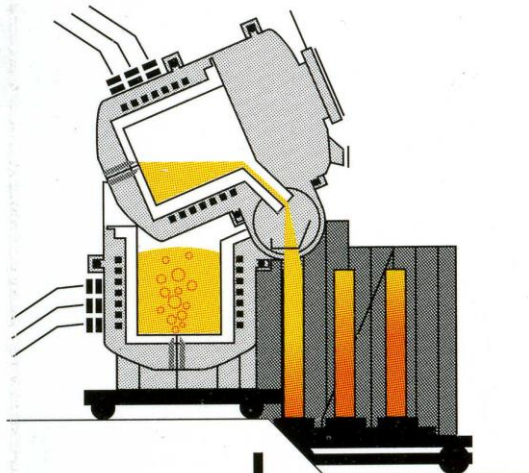
Različiti tipi pretapanja čelika



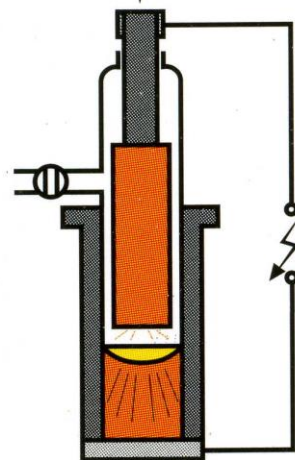
VIM



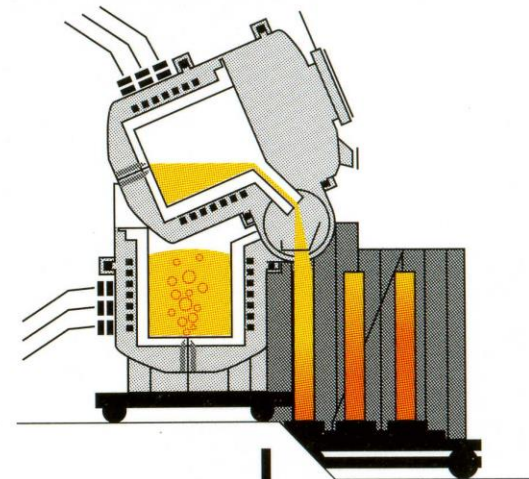
ESR



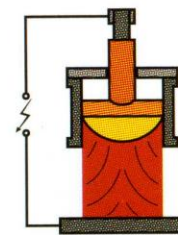
VIM



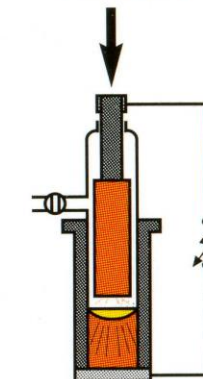
VAR



VIM



ESR



VAR

Proizvodni zahtevi i svojstva prema alatnim čelicima su:

- mogućnost obrade alata odvajanjem čestica,
- visoka kaljivost,
- visoka prokaljivost,
- zanemariva sklonost pogrubljenju zrna prilikom austenitizacije,
- neznatna promena dimenzija tokom rada,
- sigurnost s obzirom na pojavu pukotina i lomova tokom termičke obrade,
- neznatna sklonost razugljeničenju tokom termičke obrade,
- otpornost na koroziju,
- mogućnost poliranja,
- ekonomičnost itd.

Termička obrada

Termička obrada takođe jako zavisi od vrste čelika, ali i od opreme koja se pri tome koristi. Termička obrada u **sonim kupatilima** je najbrža i naj jeftinija, pre svega zbog tipa sredine u kojoj se vrši zagrevanje, a zatim zbog toga što se svaki deo može posebno kaliti ili otpuštati sa optimalnim parametrima. Na žalost, pri toj termičkoj obradi dobijaju se najlošije osobine površinskih slojeva alata, tako da se obavezno moraju brusiti nakon završetka procesa termičke obrade. Kaljenje u **vakuumskim postrojenjima** je po pravilu znatno sporije zbog samog načina prenosa toplote u vakuumu. Sa druge strane, nakon procesa se dobija svetlo sjajna površina kojoj ne treba naknadno brušenje (sem ako su se pojavile deformacije).

Osnovna svojstva koja alatni čelici moraju posedovati su:

- otpornost na habanje
- udarna izdržljivost

Poboljšavanje svojstva alata

- površinsko kaljenje (plamenom, indukcijono, lasersko, elektronskim snopom, jonsko),
- termohemijski postupci (cementacija, nitriranje, karbonitriranje, boriranje, oksidacija, difuzija metalnih elemenata – V, Cr, Al, Si),
- tvrdo elektrohemijsko hromiranje,
- nanošenje karbida, nitrida, karbonitrida i oksida iz parne faze (CVD i PVD postupci),
- nanošenje dijamantnih slojeva (DLC – Diamond Like Carbon).

Podela čelika prema nameni

- Konstrukcioni(ugljenični, nelegirani i legirani)
- Specijalni -nerđajući čelici (otporni na kiseline i vatropostojani), čelici za povišene temperature(termopostojani čelici CrMoV čelici), čelici otporni na habanje
- Alatni : ugljenični alatni, legirani alatni i brzorezni čelici.

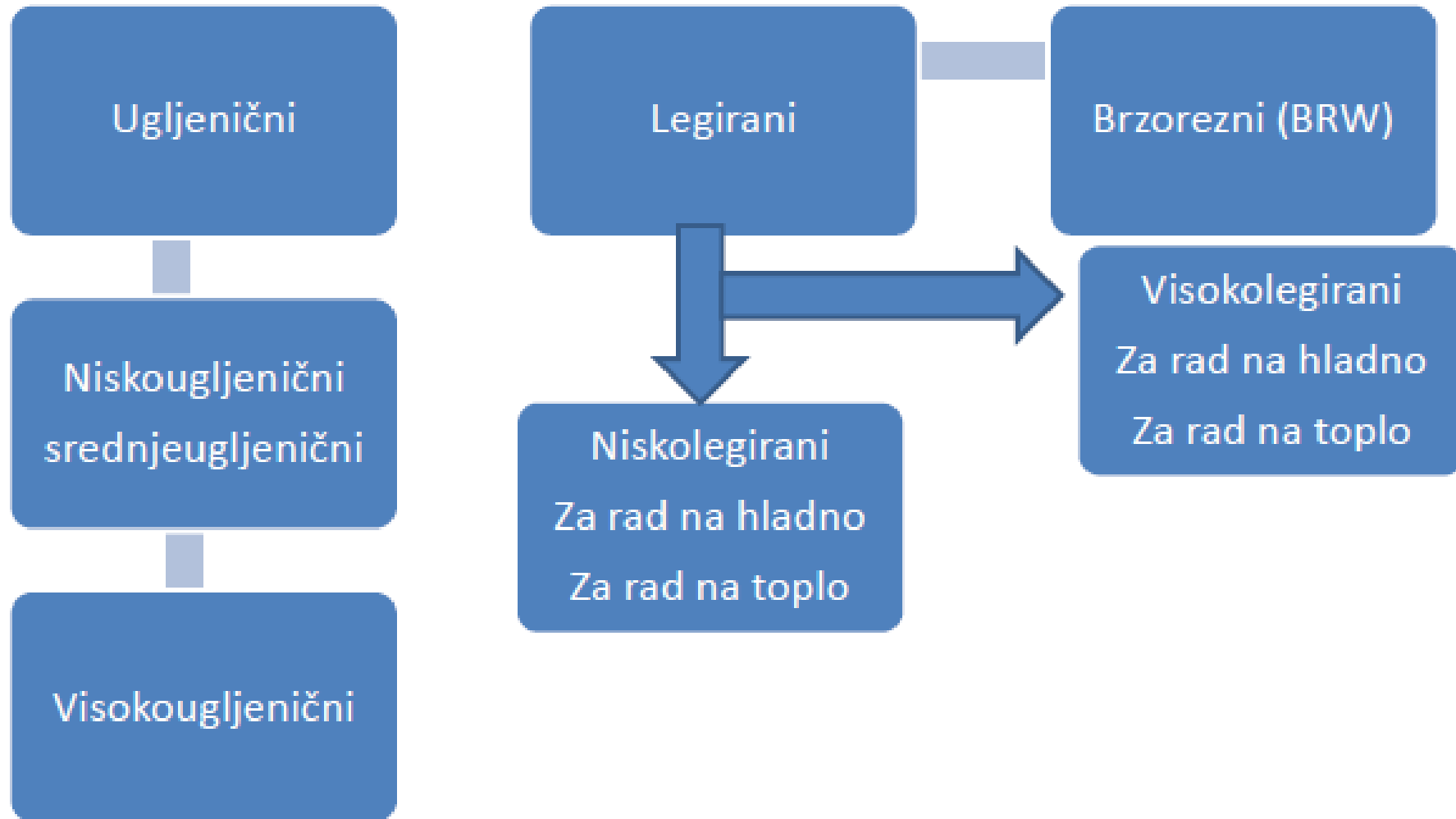
Podela čelika

- **Prema čistoći:** (sadržaj fosfora i sumpora koji je uslovljen načinom proizvodnje)
 1. Čelici običnog kvaliteta (ugljenični čelici proizvedeni u LD konvertorima ili SM pećima) ($C < 0,5\%$, $S < (\text{manji od}) 0,06\%$, $P < 0,07\%$)
 2. Kvalitetni čelici (SM ugljenični i legirani čelici sa $0,035-0,04\%P,S$)
 3. Visoko kvalitetni čelici (legirani čelici dobijeni u elektro pećima S i $P < 0,025\%$)
 4. Plemeniti čelici (legirani čelici izrađeni u elektro pećima S i $P < 0,015\%$)

Alatni čelici

- Ugljenični alatni čelici
- Legirani alatni čelici
- Brzorezni čelici
- Ostali materijali za alate

Alatni čelici



Ugljenični alatni čelici

- Do kraja 19. veka svi alati su izrađivani od ugljeničnih alatnih čelika. Trenutno nelegirani (ugljenični) alatni čelici zauzimaju oko 10% udela u ukupnoj masi proizvedenih alatnih čelika.
- najjeftinija vrsta alatnih čelika,
- najšireg asortimana dimenzija,
- jednostavni za termičku obradu,
- srazmerno niske temperature austenitizacije,
- manje osjetljivi prema razugljeničenju površine tokom termičke obrade,
- lakše obradivi odvajanjem čestica,
- bolje zavarljivi.

Ugljenični alatni čelici

Sa niskim sadržajem ugljenika (sa 0,25%C)

- Primena za merne alate i kontrolnike, metalne lenjire, šablone i sl.

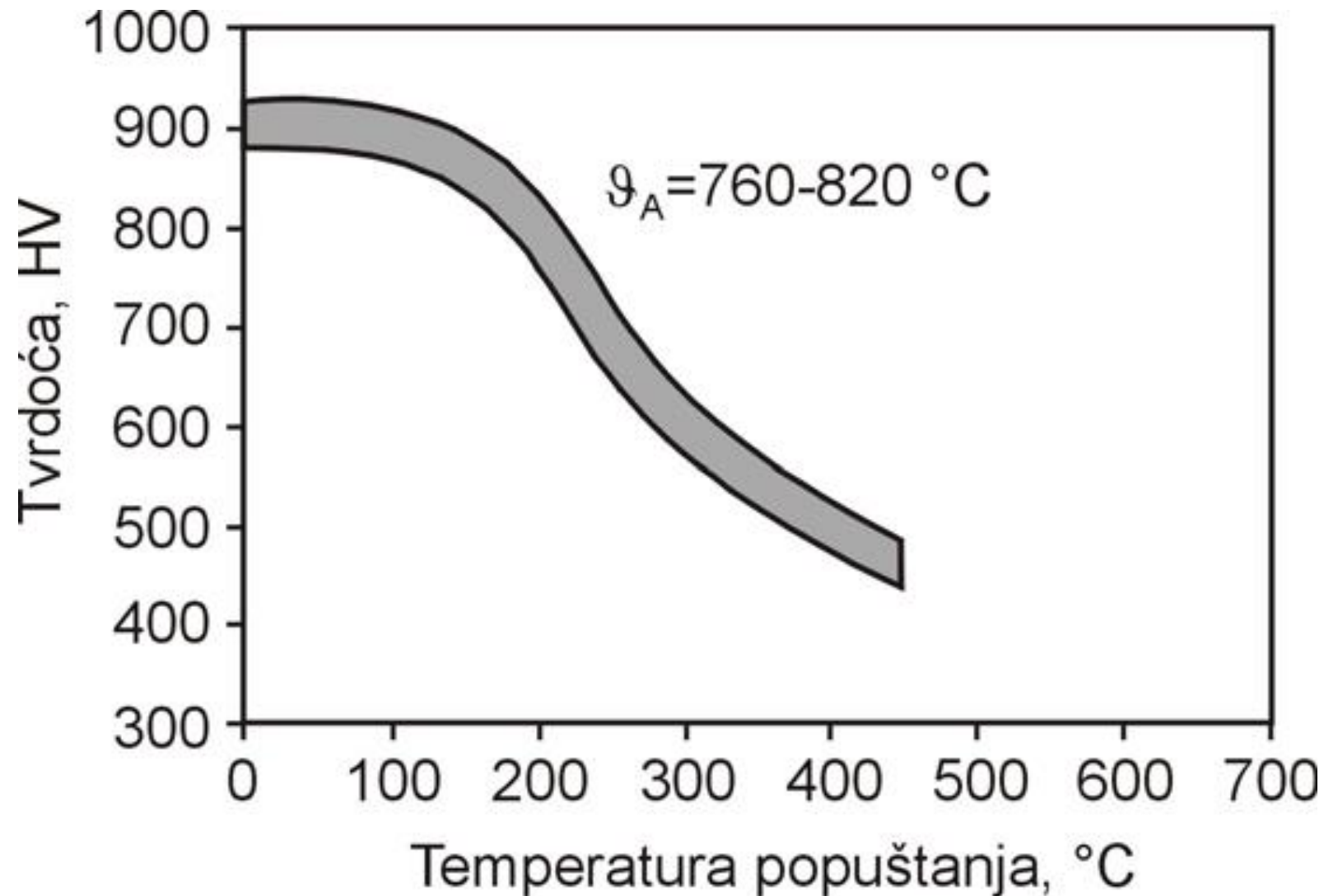
Sa srednjim sadržajem ugljenika (sa 0,25-0,6%C)

- Primena za izradu ručnih alata i pribora, reznih alata za obradu drveta, livačkih kalupa i sl.(na pr. Č1540 za sekire, čekiće, srpove)

Sa visokim sadržajem ugljenika (više od 0,6%C); 0,6-1,4% C

- Primena za izradu alata za prosecanje, za preradu hladnim deformisanjem, za obradu drveta i termoplasta, stezni alati, mali kalupi za izradu plastike i gume i sl.(Č1840, Č1841, Č1940)

Tvrdoća nelegiranog alatnog čelika u zavisnosti o temperaturi otpuštanja



Ugljenični alatni čelici

- Glavni nedostatak ugljeničnih alatnih čelika je vrlo kratko inkubacijsko trajanje do pretvaranja pothlađenog austenita u eutektoidne ili bainitne konstituente. Zbog toga što taj period traje svega nekoliko sekundi nužno je intenzivno hlađenje u vodi. To može dovesti do pojave velikih naprezanja koja uzrokuju pukotine i lomove.
- Najvažnije pozitivno svojstvo ove grupe alatnih čelika predstavlja njihova žilavost.

Legirani alatni čelici

- Legirani alatni čelici se koriste u slučaju kada je neophodna postojanost na povišenim temperaturama i veća prokaljivost.
- Legirani alatni čelici se dele na niskolegirane (ukupan sadržaj legirajućih elemenata ne prelazi 5%) i visokolegirane.

Legirani alatni čelici

- **Niskolegirani čelici za rad na hladno** koriste se za razne vrste alata a obradu čelika, obojenih metala, drveta, plastike i papira.
 - Obrada se odvija na sobnoj temperaturi(na hladno), s tim što temperatura alata usled trenja ne sme za duže vreme da preći temperaturu od 300 °C.
 - Primer: Č6840(za spiralne burgije, glodala, ureznice i nareznice, hirurške instrumente), Č6441(za noževe za obradu drveta i papira), Č4830(alati za jaka dinamička opterećenja).
-
- **Niskolegirani alatni čelici za rad na toplo** namenjeni su za radne uslove pri temperaturama iznad 300 °C.
 - Primeri: U ovu grupu spadaju čelik Č5742 namenejn za kovačke alate i Č5741 za livačke kalupe.

Niskolegirani alatni čelici za rad na hladno

Zajednička karakteristika ove grupe čelika je niska otpornost na otpuštanje, osrednja žilavost (u odnosu na ugljenične alatne čelike) te visoka otpornost na habanje. Osnovni cilj zbog kojeg se provodi legiranje ovih čelika predstavlja povišenje prokaljivosti te dobijanje kvalitetnijih i postojanijih karbida u odnosu na karbid Fe_3C . Niskolegirani alatni čelici otpuštaju se na ($\leq 250^\circ\text{C}$) pri čemu je primarni cilj izbjegavanje pojave velikih naprezanja i pukotina.

Podgrupe niskolegiranih alatnih čelika za hladan rad su:

- a) visokougljenični W-V čelici,
 - b) nisko- i srednjeugljenični W-Cr-(Si)-V čelici,
 - c) niskolegirani Cr-čelici,
 - d) niskolegirani Mn-Cr-V i Mn-Cr-W čelici.
- a) Visokougljenični

Visokolegirani alatni čelici rad na hladno

Glavni legirajući element ove grupe čelika je hrom (>5%) uz moguće dodatno legiranje vanadijem, molibdenom i/ili volframom. Hrom pritom može delovati na:

- nastanak karbida $(\text{Fe,Cr})_3\text{C}$, Cr_7C_3 s približno 91% hroma ili Cr_{23}C_6 s približno 94% hroma, tj. porast otpornosti na habanje,
- povišenje temperature austenitizacije,
- porast otpornosti na koroziju (što je manji udeo ugljenika više će se hroma otopiti u austenitu).

Povišenjem udela legiranosti i temperature austenitizacije raste udeo zaostalog austenita u okaljenoj mikrostrukturi što može smanjiti pojavu deformacija nakon kaljenja.

- **Visokolegirani alatni čelici za rad na hladno** sadrže visok sadržaj %Cr i C.
- Predstavnik ove grupe čelika je Č4150 (čelik sa 12%Cr i 2%C).
- Ovaj čelik se odlikuje velikom tvrdoćom i otpornošću na habanje.
- Primena: Koristi se za izradu profilisanih glodala, burgija za lake metale i mesing, testere za metal(uz vodeno hladjenje), kalupe za preradu plastike, presovanje porcelana i keramike.
- Visokolegirani alatni čelici za rad na toplo sadrže 5 do 10%W, 0,25-0,45%C i dodatke Cr, V, Ni, Co.
- Od ovih čelika izrađuju se alati najviše opterećeni kako mehanički tako i termički. Č6451(za presovanje na toplo u dubokim gravurama, za matrice, trnove alata za probijanje), Č6450(matrice za toplo presovanje, trnovi, alati za valjanje zavrtnjeva, alati za duboko izvlačenje, kalupi za livenje pod pritiskom). Cr-Ni čelici austenitne strukture se koriste za izradu izuzetno termički i mehanički opterećenih matrica za ekstruziju profilisanih cevi i šipki od bakra, nikla, bronzе i mesinga.

Alatni čelici za rad na toplo

Alatni čelici za rad u toplom stanju primjenjuju se za izradu alata koji su tokom rada zagrejani na temperaturu višu od 200 °C. Najvažnije svojstvo alatnih čelika za rad na toplo predstavlja otpornost na otpuštanje. Otpornost na otpuštanje obuhvata pojave koje se mogu javiti tokom izloženosti povišenim temperaturama (npr. smanjenje tvrdoće, mikrostrukturne promene, toplotnii zamor). Pored otpornosti na otpuštanje pred alatne čelike za rad na toplo postavljaju se još i dodatni zahtevi poput otpornosti na:

- trošenje,
- visokotemperaturnu koroziju,
- pojavu plastičnih deformacija,
- udarno opterećenje (žilavost).

Brzorezni čelici

- Brzorezni čelici su alatni čelici predviđeni za rad u uslovima povišene i visoke temperature oštrice tj. za rezanje velikim brzinama. Najčešće su brzorezni čelici u radu izloženi lokalnom zagrevanju do $\approx 600\text{ }^{\circ}\text{C}$ (ponekad i $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$), trošenju te udarnom delovanju obratka na alat. Hemijski sastav ove grupe čelika karakteriše povišeni udeo ugljenika (0,7-1,3%) i legiranje jakim karbidotvorcima poput hroma, volframa, vanadija i molibdena. Povišeni udeo ugljenika utiče na stvaranje karbida koji su postojani i pri povišenim temperaturama. Poput svih alatnih čelika, brzorezne čelike karakteriše višefazna mikrostruktura sastavljena od metalne osnove i karbida. Kompleksna legiranost brzoreznih čelika je uzrok pojave različitih vrsta karbida.

Brzorezni čelici

- Brzorezni čelici imaju najbolje rezne osobine sa visokim sadržajem W(volframa) 6,3-18%W i ugljenika (0,8 – 1.4%C) pošto se zakale sa visoke temperature i visoko otpuste. Klasični BRW čelik (Č6880) sadrži: 0,75%C, 18%W, 4,5%Cr, 1%V.
- Sitnozrnost i ravnomerna rasporedjenost nastalih karbida (W_2C , V_4C_3) u ovom čeliku postiže se specifičnim postupcima izrade, kovanja, i termičke obrade brzoreznih čelika.
- Iz ekonomskih razloga prešlo se na izradu brzoreznih čelika sa nižim procentom volframa(W) što je uticalo na smanjenje veka reznih alata.
- Čelik sa 10-12%W i 3-5%V (Č9681, Č9683)

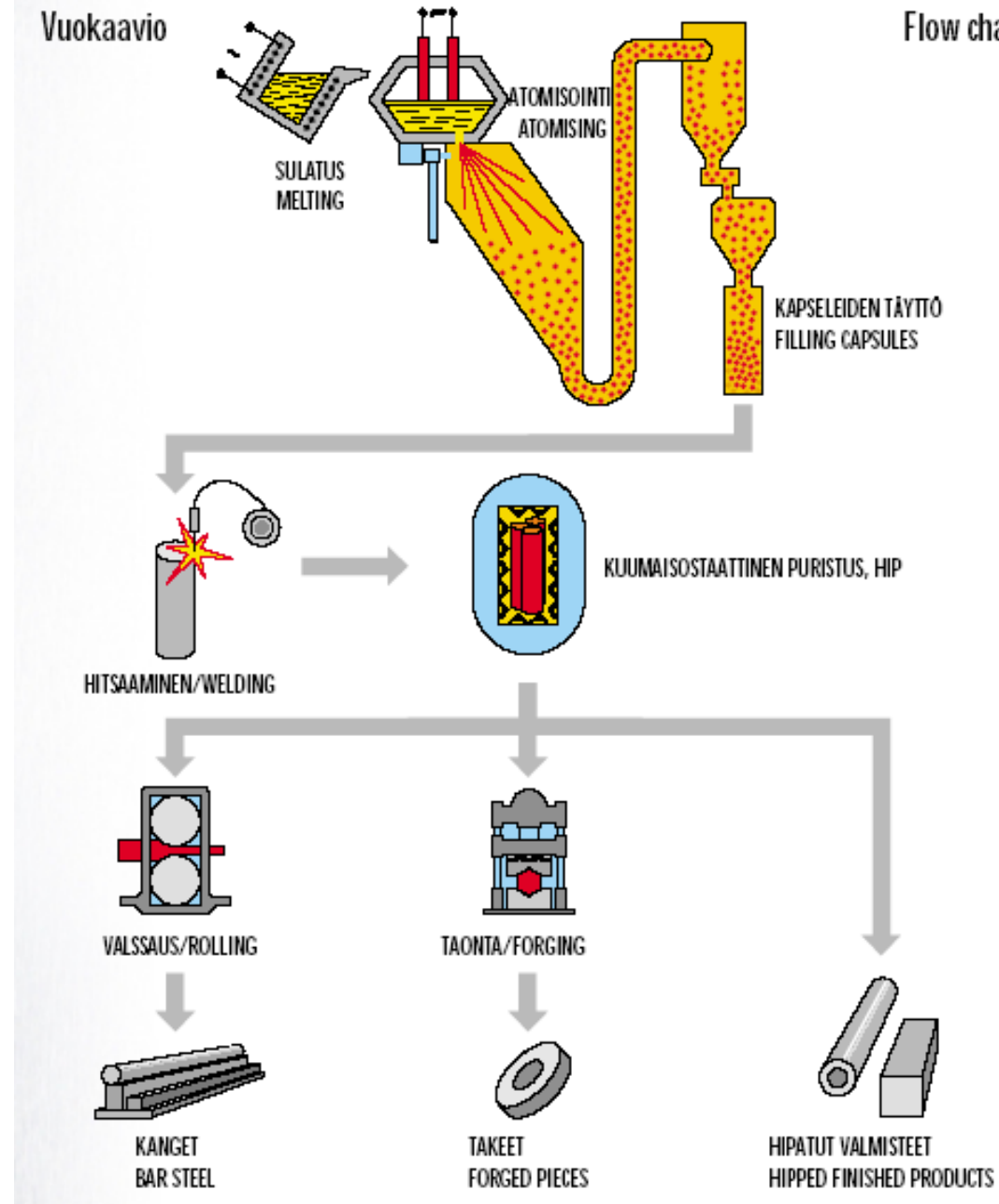
Sinteravani alatni čelici

- Istraživanje i razvoj različitih procesa te laboratorijskih metoda sinterovanja započeli su početkom 20. i predstavlja početak nove industrijske discipline – metalurgije praha (eng. Powder Metallurgy – PM).
- Današnji savremeni materijali dobijaju se optimizacijom sastava i mikrostrukture materijala prema željenim osobinama. Metalurgija praha pruža velike mogućnosti za ostvarenje takvog pristupa proizvodnji materijala i različitih delova mašina. Metalurgija praha obuhvata ne samo proizvodnju metala u obliku praha nego i nemetalnih prahova, te oblikovanje delova iz takvih prahova postupkom sinterovanja.

Proizvodnja čelika sa tehnologijom metalurgije praha

- Predstavlja potpuno novi pristup koji koristi mali broj proizvođača alatnih čelika. Pri tome se izbegavaju mnoge faze prerade klasičnim livenjem, toplim preoblikovanjem, termička obrada i td. Suština procesa je da se dobije dovoljno fina granulacija praha i da se postigne dovoljno visok izostatički pritisak koji će dati čeliku potrebnu gustinu – eliminisati poroznost. Danas se koristi tehnologija III generacije koja obezbeđuje veoma finu i ravnomernu strukturu kod visokolegiranog brzoreznog čelika.
- Sinterovani čelici postižu potpunu izotropiju strukture, osobina i unutrašnjih napona prvenstveno zbog primene praha vrlo malih dimenzija te vrlo brzog hlađenja čime se isključuje mogućnost pojave dendritske strukture praha. Sraščene čestice takođe pokazuju bezdendritnu strukturu. Sinterovani čelici su prikladni za termohemijsku obradu i za obradu prevlačenjem (PVD, CVD) jer je izotropna struktura znatno povoljnija za difuziju od anizotropne. Glavna negativna karakteristika svih metala nastalih postupkom sinterovanja je njihova visoka krtošć.

Postupak proizvodnie polufabrikata



Tehnologija metalurgije praha nudi niz prednosti

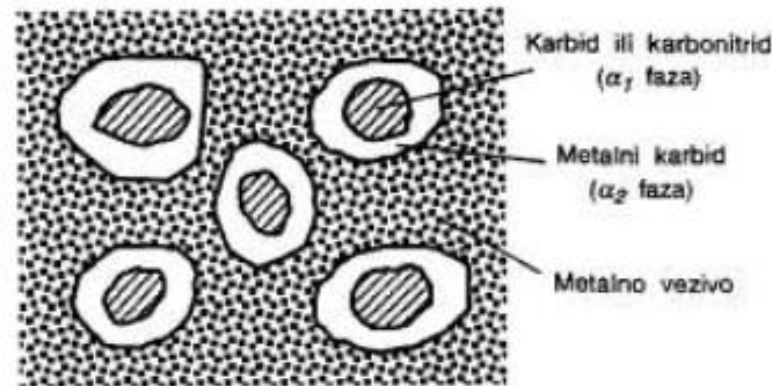
- Ekstremno visoku otpornost na habanje
- izvanrednu korozionu postojanost
- optimalna mogućnost brušenja
- najbolju mogućnost postizanja ogledalo ravne površine
- visoku žilavost
- zanemarujuću izotropiju dimenzionalnih promena
- uvek isti kvalitet proizvoda
- bolja otpornost na vibracije
- izrada alata najviše preciznosti
- dugotrajniji alat

Primer alata za formiranje i sečenje plastike



CERMETI

- Cermet predstavlja mešavinu metala sa najmanje jedno keramičkom fazom. Pod keramičkom fazom u cermetu se podrazumieva svaka anorganska, nemetalna kristalna veza. Ove veze su najčešće oksidi, karbidi, nitridi i njihove međusobne kombinacije. Cermet je materijal dobijen metalurgijom praha isto kao i tvrdi metal.
- Cermet nije klasičan tvrdi metal, ali nije ni klasična keramika. Cerment je rezni materijal na bazi titan karbida i titan karbonitrida u metalnoj vezi nikla i molibdena.



CERMETI

Razne karakterisitke savremenih cermenta su:

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

Kada se radi o operacijama završne obrade, kada se koristi manje vrednosti posmaka i veće brzina rezanja, cermeti pokazuju mnogo bolje karakteristike nego tvrdi metal.

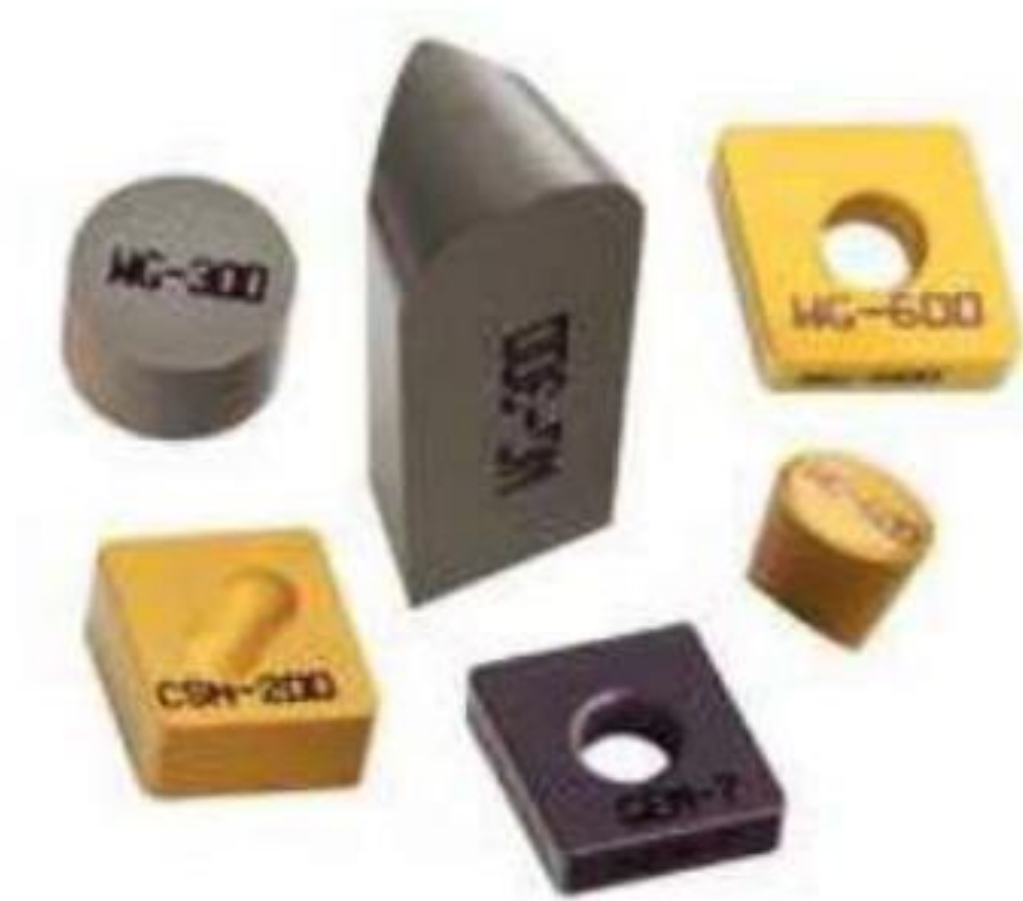
REZNA KERAMIKA

- Rezna keramika predstavlja novi rezni materijal. Keramika su anorganski, nemetalni materijali dobijeni postupkom sinterovanja, keramika je proizvod praškaste metalurgije. Proizvodnja keramike se sastoji u očvršćavanju pripremljenog praha i sinterovanju sa ili bez delovanja pritiska.

Postoje dve potpune različite vrste rezne keramike:

- Keramika na bazi aluminijum oksida(Al_2O_3)-oksidna keramika
- Keramika na bazi silicijum nitrida(Si_3N_4)-nitridna keramika

- Jedan nedostatak tvrdih metala i cermeta je sklonost ka difuziji, i uopšte hemijskim reakcijama, kod keramičkih materijala je u mnogome uklonjena. Hemijsku stabilnost pokazuje čista oksidna keramika i mešana keramika.



SUPERTVRDI REZNI MATERIJALI

- Najtvrđi poznati prirodni materijal je dijamant. Ono što ograničava veću upotrebu dijamanta kao reznog materijala je njegova visoka cena 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 aluminijumovih legura, legura bakra, abrazivnih plastika, prirodnog kamena, itd. Dijamnat je ugljenikova modifikacija u obliku kubne kristalne rešetke. Postojan je do temperature 1300 stepeni celzusa kada prelazi u drugu modifikaciju grafit-heksagonalnu rešetku.
- Postupkom sinterovanja na visokim temperaturama i pritiscima se na veštački način može dobiti kubni bor nitrid. Primena kubnog bor nitrída je kao rezani materijal.

