

Visokobrzinske obrade

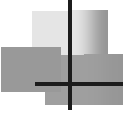
FSB, Proizvodno strojarstvo, OSiP

Visokobrzinske obrade

UVOD

Premda visokobrzinska obrada VBO (HSC – High Speed Machining) ne spada u najnovija istraživačka područja, tek su nedavni gospodarski učinci polučeni primjenom VBO dali značajan poticaj širokoj primjeni i daljnjim istraživanjima u području VBO. U posljednjih 20-tak godina VBO je postala jedna od ključnih tehnologija obrade odvajanjem za ostvarivanje konkurentnosti. Istraživanja u području VBO nisu utjecala samo na proces VBO, već i na sve komponente i prateće procese koji su potrebni za pravilnu i uspješnu primjenu tehnologije VBO.

FSB, Proizvodno strojarstvo, OSiP



POSTUPCI OBRADJE ODVAJANJEM Visokobrzinska obrada

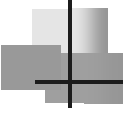
Visokobrzinske obrade

UVOD

Teško je definirati visokobrzinske obrade (HSM) jer u to se često ubraja veći broj pristupa i/ili njihovih kombinacija:

- HSC - rezanje visokim brzinama (v_c)
- Obrada na velikim frekvencijama vrtnje (n)
- Obrada visokim posmacima (v_f)
- Obrada velikim jediničnim volumenima (material removal rate)

FSB, Proizvodno strojarstvo, OSiP



POSTUPCI OBRADJE ODVAJANJEM Visokobrzinska obrada

Visokobrzinske obrade

Što je VBO ?

Postoje mnogi pokušaji da se što egzaktnije definira VBO. Pri tome neki autori VBO nastoje definirati preko frekvencije vrtnje glavnoga vretena (npr. da je VBO svaka obrada pri kojoj je frekvencija vrtnje glavnoga vretena veća od 8000 min^{-1}), dok se drugi koriste brzinom rezanja.

Zanimljiv način definiranja VBO je preko DN broja koji predstavlja karakteristiku konstrukcije glavnog vretena i dobro odražava dinamiku HSC. Vrijednost DN broja se dobije kao umnožak promjera glavnog vretena u mm i frekvencije vrtnje glavnog vretena u min^{-1} .

Postoje i definicije koje se odnose na alat i dinamiku glavnog vretena koje ovise o vlastitoj frekvenciji u dominirajućem području vibracija (Smith, Tlusty).

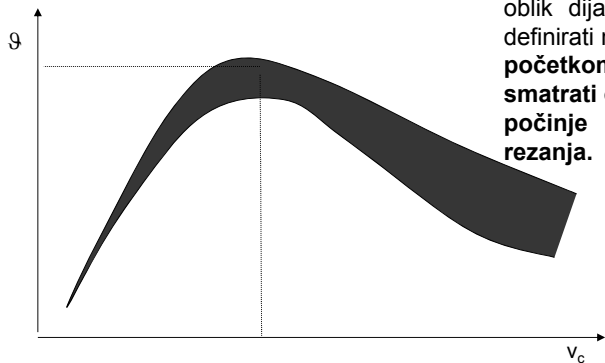
U praksi se ponekad koristi i omjer P/n_{max} prema kojem je granična vrijednost između konvencionalne i HSC obrade $\sim 0,005$, odnosno kod HSC obrade je $< 0,005$.

FSB, Proizvodno strojarstvo, OSiP

POSTUPCI OBRADJE ODVAJANJEM
Visokobrzinska obrada

Visokobrzinske obrade

Koliko stvarno iznosi brzina rezanja kod VBO ?



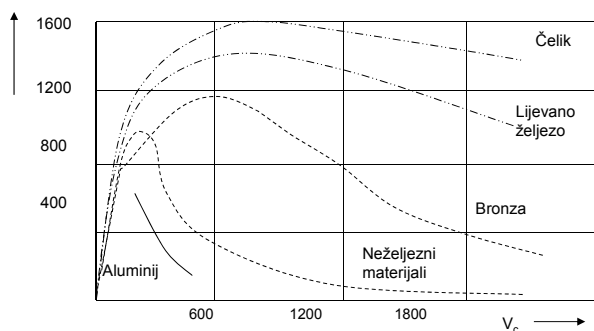
Teorijski (ako se usvoji Salomonov oblik dijagrama $\theta=f(v_c)$) se to može definirati na sljedeći način:
početkom VBO obrade može se smatrati ona brzina rezanja kod koje počinje silazni trend temperature rezanja.

FSB, Proizvodno strojarstvo, OSiP

POSTUPCI OBRADJE ODVAJANJEM
Visokobrzinska obrada

Visokobrzinske obrade

Taj fenomen je prvi uočio C. Salomon. Na osnovu studije o rezanju koju je napravio pri obradi čelika, neželjeznih i lakih metala, a s velikim rasponima brzina rezanja, uočio je da kod određene brzine rezanja temperatura rezanja počinje opadati, što ukazuje na činjenicu da se ušlo u područje visokobrzinske obrade.



FSB, Proizvodno strojarstvo, OSiP

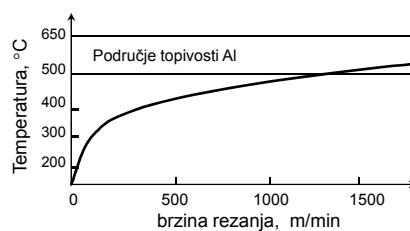
POSTUPCI OBRADE ODVAJANJEM

Visokobrzinska obrada

Visokobrzinske obrade



a) Solomon-ova krivulja ovisnosti temperature o brzini rezanja



b) McGee-ova krivulja ovisnosti temperature o brzini rezanja pri obradi aluminija

FSB, Proizvodno strojarstvo, OSiP

POSTUPCI OBRADE ODVAJANJEM

Visokobrzinska obrada

Visokobrzinske obrade

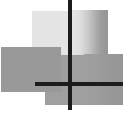
Izvor: R.C. Dewes et al.
Temperature measurement when high speed machining hardened mould/die steel,
Journal of Materials Processing Technology 92-93 (1999) 293-301

Sažetak

Kod tokarenja i čeonog glodanja otvrdnutih alatnih čelika (>30 HRC) obično se koriste alati od keramike ili PCBN alati. Primjena HSS i TM alata je bila otežana (neprijmjerena) zbog relativno niske tvrdoće na visokim temperaturama. Nedavno su ipak alatnice počele koristiti TM glodala za VBO obradu otvrdnutih čelika.

Rad opisuje primjenu glodala $\phi 6$ mm, od TM prevučenog TiCN prevlakom, za VBO obradu alatnog čelika AISi H13, kaljenog na 52 HRC. Eksperiment je proveden na OC Matsura s 20000 RPM, a temperature su mjerene termoparom i IR tehnikom. Temp. na sučelju alat-obradak i temp. čestice su bile u rasponu 200-400°C.

FSB, Proizvodno strojarstvo, OSiP



POSTUPCI OBRADJE ODVAJANJEM Visokobrzinska obrada

Visokobrzinske obrade

Zaključci

1. Temperature na sučelju alat-obradak mjerene pomoću termo-pare i kod kuta osi alata i obratka od 0° bile su 198 - 301°C, a kod kuta od 60°, 247-385°C.
2. Porastom brzine rasle su i temperature i kod većih brzina nije se pojavio pad temperature. To potvrđuje McGee-ove tvrdnje i u suprotnosti je sa Salomon-ovom teorijom.
3. Obrada istrošenim alatom dala je više temperature nego obrada oštrim alatima.
4. ...
5. ...

FSB, Proizvodno strojarstvo, OSiP



POSTUPCI OBRADJE ODVAJANJEM Visokobrzinska obrada

Visokobrzinske obrade

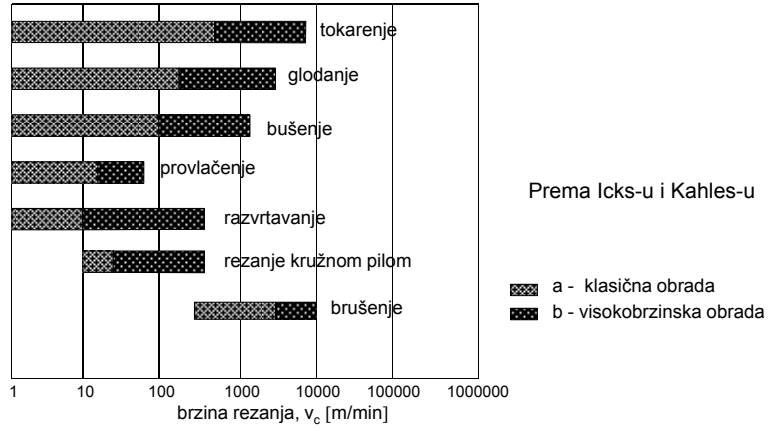
Zašto se VBO nije počela primjenjivati ranije ?

Glavni razlog zašto se VBO nije počela primjenjivati ranije je, pored ostaloga, što se nije mogao (znao) riješiti problem nastale topline. Kod određenih brzina (većih od "normalnih") značajan dio nastale topline se još uvijek zadržava u alatu i obratku, što rezultira brzim trošenjem alata i lošom kvalitetom obrađene površine. VBO zapravo preskače to najnepovoljnije područje brzina, pa nastala toplina u najvećoj mjeri prelazi u odvojenu česticu.

FSB, Proizvodno strojarstvo, OSiP

POSTUPCI OBRADJE ODVAJANJEM
Visokobrzinska obrada

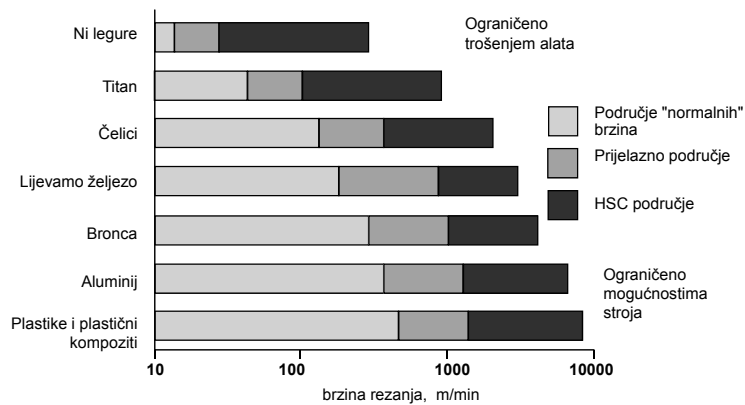
Visokobrzinske obrade



FSB, Proizvodno strojarstvo, OSiP

POSTUPCI OBRADJE ODVAJANJEM
Visokobrzinska obrada

Visokobrzinske obrade



Izvor: Moriwaki, 1992

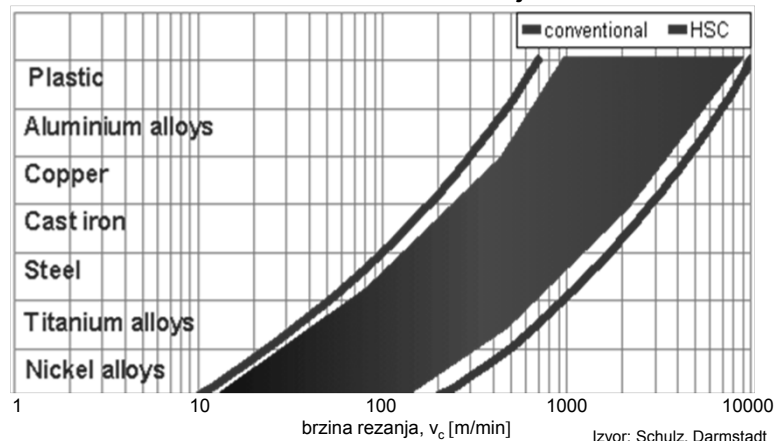
FSB, Proizvodno strojarstvo, OSiP

POSTUPCI OBRADJE ODVAJANJEM

Visokobrzinska obrada

Visokobrzinske obrade

Uobičajene brzine rezanja kod konvencionalne i visokobrzinske obrade ovisno o materijalu obratka



POSTUPCI OBRADJE ODVAJANJEM

Visokobrzinska obrada

Visokobrzinske obrade

Visokobrzinska obrada (VBO) nema jednoznačnu vrijednost.

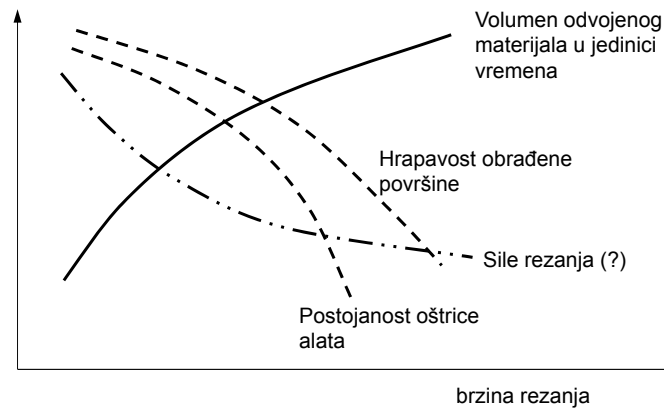
U stvarnosti iznos brzine rezanja kod VBO strogo ovisi o materijalu obratka.

Ostvarenje VBO pretpostavlja i zahtijeva promatranje obrade odvajanjem kao sustava koji čine alatni stroj, alat, obradak i njihova međusobna sučelja.

FSB, Proizvodno strojarstvo, OSiP

POSTUPCI OBRADJE ODVAJANJEM Visokobrzinska obrada

Visokobrzinske obrade - osnovne značajke



FSB, Proizvodno strojarstvo, OSiP

POSTUPCI OBRADJE ODVAJANJEM Visokobrzinska obrada

Visokobrzinske obrade

- Najjednostavnija i najveća prednost kod primjene VBO je povećanje produktivnosti.
- Povećanjem brzine rezanja poboljšava se kvaliteta obrađene površine, odnosno smanjuje hrapavost obrađene površine.
- Kod VBO smanjuju se sile rezanja, pa se olakšava proces rezanja. Manje sile uzrokuju manje deformacije obratka, pa je moguća preciznija obrada i obrada tankostjenih profila.
- Veliki problem VBO je veliki pad postojanosti oštrice alata.

FSB, Proizvodno strojarstvo, OSiP

POSTUPCI OBRADJE ODVAJANJEM Visokobrzinska obrada

Visokobrzinske obrade

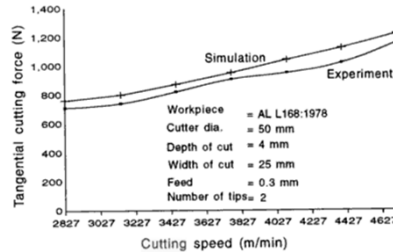


Figure 2. Cutting speed versus cutting forces

Istraživanje je pokazalo porast sile rezanja s porastom brzine rezanja. To je u suglasju s radovima Arndt-a (1973) i Schulz-a (1989) te nešto kasnije Sculz-a i Moriwaki-ja (1992). Rezultati pokazuju porast snage s porastom brzine rezanja, a uslijed porasta tangencijalne sile rezanja.

Postoje mnoge kontroverze o utjecaju brzine rezanja na sile rezanja. Ovo istraživanje pokazuje da sila ostaje približno konstantna do brzine od 1000 m/min, nakon čega počinje značajni porast. To se može objasniti utjecajem momenta sile (momentum force) i istodobno sugerira da ranija tvrdnja o padu sile rezanja s porastom brzine rezanja nema znanstveno utemeljenje.

FSB, Proizvodno strojarstvo, OSiP

POSTUPCI OBRADJE ODVAJANJEM Visokobrzinska obrada

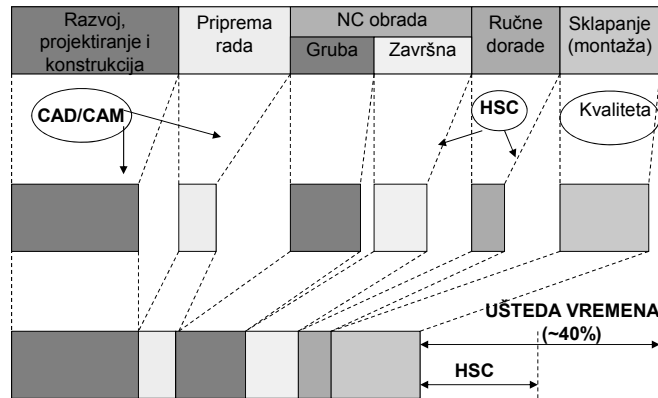
Visokobrzinske obrade



FSB, Proizvodno strojarstvo, OSiP

POSTUPCI OBRADJE ODVAJANJEM
Visokobrzinska obrada

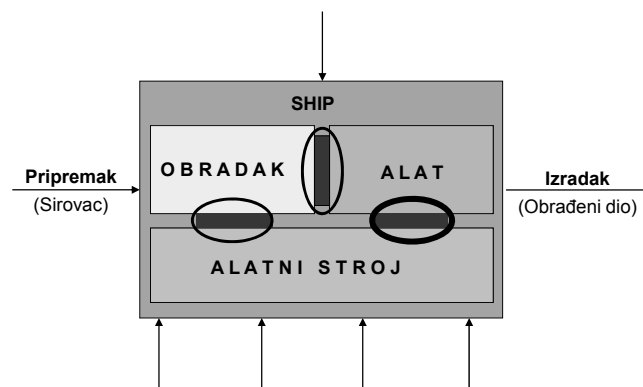
Visokobrzinske obrade



FSB, Proizvodno strojarstvo, OSiP

POSTUPCI OBRADJE ODVAJANJEM
Visokobrzinska obrada

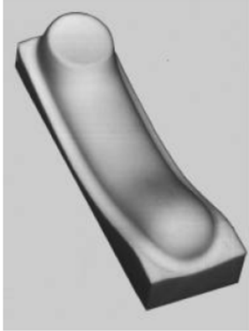
Visokobrzinska obrada kao sustav



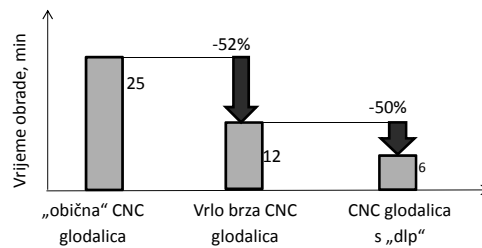
FSB, Proizvodno strojarstvo, OSiP

POSTUPCI OBRADJE ODVAJANJEM Visokobrzinska obrada

Zahtjevi na alatni stroj



	Direktni linearni pogoni (dlp)
Brzi hod (pozicioniranje), v_{f0} m/min	100
Ubrzanje, a , m/s ²	15
Pojačanje, K_v (m/min/mm)	15
Posmična brzina, v_f m/min	20



FSB, Proizvodno strojarstvo, OSiP

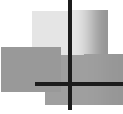
POSTUPCI OBRADJE ODVAJANJEM Visokobrzinska obrada

Zahtjevi na alatni stroj

Koje se sve promjene događaju kod alatnih strojeva kako bi se što učinkovitije ostvarile prednosti primjene visokobrzinskih obrada ?

- Pogoni i prigoni
- Vodilice
- Materijal
- Sustavi za SHIP
- Prihvati alata i obradaka
- Zamjene alata i obradaka

FSB, Proizvodno strojarstvo, OSiP



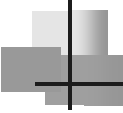
POSTUPCI OBRADJE ODVAJANJEM
Visokobrzinska obrada

Zahtjevi kod upravljačkih sustava

Koje se sve promjene događaju kod upravljačkih sustava ?

- Brzina obrade i prijenosa informacija
- Algoritmi za kompenzaciju polumjera
- Metode ulaska i izlaska iz zahvata
- Generiranje odgovarajućih putanja alata
- Čitanje 100 i više blokova unaprijed („look ahead“)

FSB, Proizvodno strojarstvo, OSiP



POSTUPCI OBRADJE ODVAJANJEM
Visokobrzinska obrada

Zahtjevi na rezni alat

Pored značajki reznoga alata, važnih općenito, kao što su:

materijal,
geometrija,
prevlake

kod HSC obrada posebnu pozornost treba obratiti na:

- prihvat i
- balansiranje alata.

FSB, Proizvodno strojarstvo, OSiP

POSTUPCI OBRADJE ODVAJANJEM
Visokobrzinska obrada

Visokobrzinska obrada kao sustav

FSB, Proizvodno strojarstvo, OSiP

POSTUPCI OBRADJE ODVAJANJEM
Visokobrzinska obrada

Visokobrzinske obrade - materijali i prevlake reznih alata

Otpornost na trošenje,
Brzina rezanja,
Čvrstoća i tvrdoća na pov. temp.

Žilavost, čvrstoća

FSB, Proizvodno strojarstvo, OSiP

POSTUPCI OBRADJE ODVAJANJEM

Visokobrzinska obrada

Visokobrzinske obrade - materijali i prevlake reznih alata

Zahtjevi koji se postavljaju na materijal reznog dijela alata mogu se predstaviti kao zahtjevi na sljedeća svojstva:

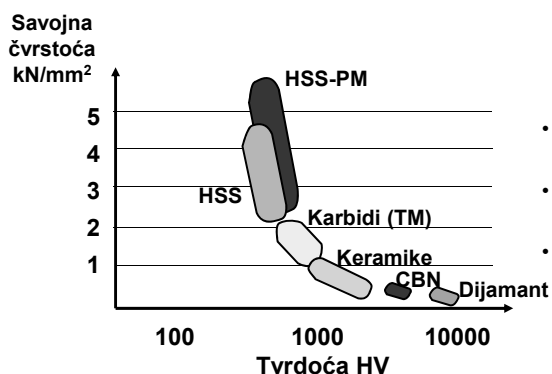
- tvrdoća i čvrstoća,
- žilavost,
- čvrstoća reznog brida,
- unutrašnja stabilnost strukture,
- temperaturna izdržljivost, oksidacijska postojanost,
- ne naginjanje difuziji i stvaranju naljepka.

FSB, Proizvodno strojarstvo, OSiP

POSTUPCI OBRADJE ODVAJANJEM

Visokobrzinska obrada

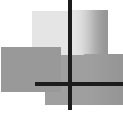
Visokobrzinske obrade - materijali i prevlake reznih alata



Brzorezni čelici imaju savojnu čvrstoću višu od ostalih materijala reznih alata, a to omogućuje:

- veću otpornost oštrice na krzanje,
- mogućnost većih dubina obrade, a to znači manje prolaza
- veći posmak po zubu

FSB, Proizvodno strojarstvo, OSiP



POSTUPCI OBRADJE ODVAJANJEM

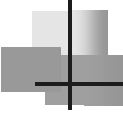
Visokobrzinska obrada

Visokobrzinske obrade - materijali i prevlake reznih alata

Zahvaljujući čvrstoći HSS materijala, omogućeni su alati vrlo naglašeni oštrice, a takve oštrice imaju niz prednosti:

- **Obrada teško obradivih legura**
Laganija obrada titanskih legura. Manje otvrdnjavanje deformacijom pri obradi austenitnih čelika i legura nikla.
- **Bolja kvaliteta**
Bolja kvaliteta obrađene površine i uže tolerancije (jer se ostvaruje rezanje). Manje sile rezanja što je posebno važno pri obradi tankostjenih profila.
- **Veća postojanost (da li baš tako jednoznačno ?)**
Niže temperature oštrice zahvaljujući manjim silama.
- **Ekonomičnost**
Manja potrošnja energije pri radu alatnih strojeva.

FSB, Proizvodno strojarstvo, OSiP



POSTUPCI OBRADJE ODVAJANJEM

Visokobrzinska obrada

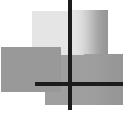
Visokobrzinske obrade - materijali i prevlake reznih alata

Tvrđi metali

Razvijeni su u Njemačkoj (Krupp, 1926.) s nazivom Widia^[1] i značajno su utjecali na razvoj tehnika obradbe. Sastoje se od metalnih karbida kao nositelja tvrdoće (WC, TiC i TaC, kao i NbC) te Co, također i Ni i/ili Mo, kao veziva. Tvrdoća im dostiže vrijednosti 1300...1800 HV, čak i pri temperaturi 1000°C snizi se za samo 10%. Sinterirani tvrdi metali s TiC su i pri 700°C tvrdi od brzoreznog čelika pri sobnoj temperaturi. Također i žilavost im je zamjetna (savojna čvrstoća je 800...2200 N/mm²). Tlačna čvrstoća je veoma visoka: 4000...5900N/mm²).

[1] Njem. Wie Diamant (kao dijamant).

FSB, Proizvodno strojarstvo, OSiP



POSTUPCI OBRADE ODVAJANJEM

Visokobrzinska obrada

Visokobrzinske obrade - materijali i prevlake reznih alata

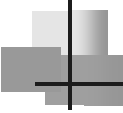
Keramika¹

Kod rezne keramike razlikujemo:

- oksidnu (bijelu) keramiku ($99,7\% \text{Al}_2\text{O}_3$) s niskim udjelom MgO ili SiO_2 ; također i ZrO_2 ;
- miješanu (crnu) keramiku od Al_2O_3 različitih drugih karbida i nitrida (TiC, TiN, WC);
- neoksidnu keramiku na temelju Si_3N_4 .

Savojna čvrstoća rezne keramike 300...7000 N/mm², tlačna čvrstoća 2500...4500 N/mm², a tvrdoća 1400...2400 HV 30.

^[1] grč. *Keramos*, glina, ilovača .



POSTUPCI OBRADE ODVAJANJEM

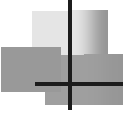
Visokobrzinska obrada

Visokobrzinske obrade - materijali i prevlake reznih alata

Cermet¹

Sastoje se od metalnih i keramičkih komponenti. Keramičke komponente uložene su u metalnu vezivu fazu (npr. nikal). Osim karbida poznatih u tvrdim metalima (WC, TiC, TaC) cermeti sadrže i spojeve s dušikom (npr. TiN). Sadašnji se cermeti sastoje pretežito od titanova karbonitrida i nikla optimiranjem svojstava s udjelom Ni, veličinom zrna Ti(C,N), omjerom C/N i s dodatkom TaC, NbC ili WC. Otpornost prema trošenju postiže se s TiC, a TiN snizuje trenje i povećava otpornost prema stvaranju naslage (naljepljenju odvojene čestice na reznu pločicu).

^[1] engl. Cermet od ceramic + metal.



POSTUPCI OBRADJE ODVAJANJEM Visokobrzinska obrada

Visokobrzinske obrade - materijali i prevlake reznih alata

Kubični borov nitrid¹

Iza dijamanta ovo je najtvrdi rezni materijal (tvrdoća 4500 HV 30). Postojan je do temperature 1500°C. Tlačna čvrstoća mu je 4000 N/mm², a savojna čvrstoća 600 N/mm².

Kubično kristalizirani borov nitrid primjeren je za obradbu čelika tvrdoće 54...68 HRC, legura na temelju kobalta i nikla te brzoreznih čelika.

¹ engl. Cubic Boron Nitride



POSTUPCI OBRADJE ODVAJANJEM Visokobrzinska obrada

Visokobrzinske obrade - materijali i prevlake reznih alata

Dijamant

Dijamant je čisti ugljik, kubične kristalne rešetke. Pet puta je tvrdi (7000 HV 30) od TM, ali mu je savojna čvrstoća tek 300 N/mm². Najtvrdi je rezni materijal i najotporniji prema trošenju. Nedostaci su osjetljivost na udarce i niska tlačna čvrstoća (3000 N/mm²). Postojan je do temperature 600°C; iznad 800°C izgara.

U uporabi je prirodni monokristalni dijamant (za finu obradbu), prirodni polikristalni dijamant i umjetni polikristalni (PCD) dijamant.

Dijamantni alati primjereni su za obradbu Al, Al legura, Cu i Cu legura, Mg, Zn, Sn, Pb, Pt, Au, Ag, umjetnih materijala, tvrde gume, grafita, keramike, stakla, kamena i azbesta.

Dijamant nije dobar za obradu U, Mn, Ni, Co, Fe, Ti, Cr, Va, Mo, W

POSTUPCI OBRADJE ODVAJANJEM

Visokobrzinska obrada

Visokobrzinske obrade - materijali i prevlake reznih alata

Prevlačenje reznih alata

Rezni alati od brzoreznih čelika prevlače se titanovim karbidom (TiC), titanovim nitridom (TiN), titan aluminijevim nitridom (TiAl)N, aluminijevim oksidom Al_2O_3 i nizom drugih prevlaka.

Za prevlačenje se primjenjuju postupci:

- Fizikalno nanošenje slojeva (PVD¹);
- Kemijsko nanošenje iz parne faze (CVD²).

1 engl. Physical Vapour Deposition.

2 engl. Chemical Vapour Deposition.

FSB, Proizvodno strojarstvo, OSiP

POSTUPCI OBRADJE ODVAJANJEM

Visokobrzinska obrada

Visokobrzinske obrade - materijali i prevlake reznih alata



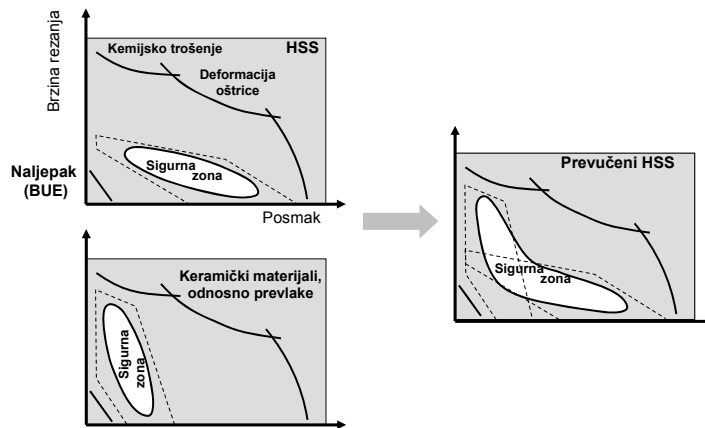
Prva PVD prevlaka, 1985., bio je TiN.

Danas je česta TiAlN, a primjenjuju se i brojne druge kao TiCN, CrN, ZrN.

FSB, Proizvodno strojarstvo, OSiP

POSTUPCI OBRADJE ODVAJANJEM
Visokobrzinska obrada

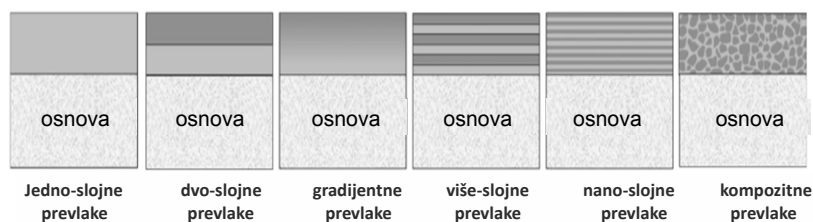
VBO - materijali i prevlake reznih alata; prevučeni HSS



FSB, Proizvodno strojarstvo, OSiP

POSTUPCI OBRADJE ODVAJANJEM
Visokobrzinska obrada

VBO -materijali i prevlake reznih alata; suvremene prevlake



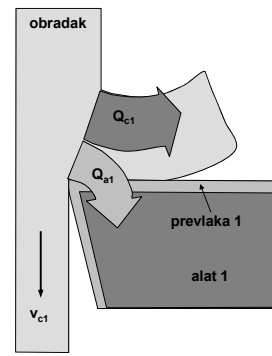
Povijesni razvoj prevlaka:

- 1970 –početkom 70-tih prva CVD prevlaka, TiC, nanešena na TM.
- 1975–prva CVD više-slojna prevlaka kombinira TiC, TiN, i TiCN slojeve.
- 1980–CVD više-slojna prevlaka kombinira TiC, TiCN, Al₂O₃, i TiN slojeve.
- 1980–prva PVD TiN prevlaka na HSS alatima.
- 1985–prva PVD TiCN gradijentna prevlaka.
- 1990–prva PVD TiAlN.
- 1995–CVD dijamantna više-slojna prevlaka; PVD (vs–TiN/TiAlN); PVD TiB₂; PVD TiAlN/WC–C .
- 2000–prva nano-slojna prevlaka (sloj može biti debljine svega nekoliko nm).
- 2005–PVD AlCrN – prva prevlaka s nano kompozitima PVD Al₂O₃ coatings.
- 2010–PVD oksinitridne prevlake (Al–Cr–O–N ili Zr–O–N) – poboljšava meh.svoj. i temp. stabilnost.

FSB, Proizvodno strojarstvo, OSiP

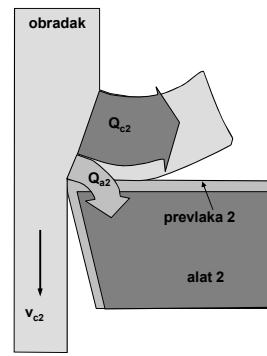
POSTUPCI OBRADJE ODVAJANJEM
Visokobrzinska obrada

VBO - materijali i prevlake reznih alata



Prevlaka visoke toplinske vodljivosti

- brzina rezanja $v_{c1} = v_{c2}$
- toplina o.č. $Q_{c1} < Q_{c2}$
- toplina alata $Q_{a1} > Q_{a2}$
- sila rezanja $F_{c1} > F_{c2}$
- duljina kontakta $l_{k1} > l_{k2}$

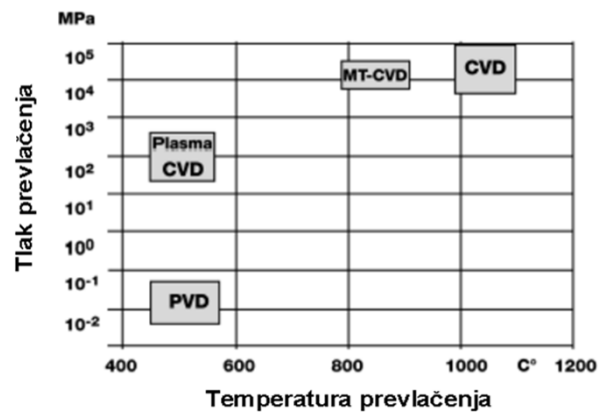


Prevlaka male toplinske vodljivosti

FSB, Proizvodno strojarstvo, OSiP

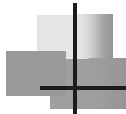
POSTUPCI OBRADJE ODVAJANJEM
Visokobrzinska obrada

Visokobrzinske obrade - materijali i prevlake reznih alata



Zone tlaka i temperatura prevlačenja kod PVD i CVD prevlačenja

FSB, Proizvodno strojarstvo, OSiP



POSTUPCI OBRADJE ODVAJANJEM Visokobrzinska obrada

Visokobrzinske obrade - materijali i prevlake reznih alata

	Dijamant	CBN	TM	Cermet	Keramika Si ₃ N ₄	Keramika Al ₂ O ₃
Spec. masa (~ 10 ³ kg/m ³)	3,5	3,5	14,5	6,8	3,2	4,2
Tvrdoća Hv	10000	5000	1500	1600	1600	2500
Čvrstoća N/mm ²	1350	700	1650	2500	600	500
Toplinska vodljivost W/mK	2000	1300	100	13	100	30

Izvor: Internet

FSB, Proizvodno strojarstvo, OSiP



POSTUPCI OBRADJE ODVAJANJEM Visokobrzinska obrada

VBO - materijali i prevlake reznih alata

	TiN	TiCN	ZrN	CrN	TiAlN	AlTiN	AlTiSiN	AlTiCrN	Quantum	X-1C	DLC
COATINGS	Titanium Nitride	Titanium-Carbonitride	Zirconium Nitride	Chromium Nitride	Titanium Aluminum Nitride	Aluminum Titanium Nitride	Aluminum Titanium Silicon Nitride	Aluminum Titanium Chromium Nitride	Titanium Nitride Alloy	Molybdenum Disulfide	Diamond Like Carbon
Hardness [HV]	2400	3500	2400	1800	3400	3600	4500	3400	2400	600	2000
Friction Coefficient	0,4	0,2	0,3	0,3	0,5	0,5	0,45	0,55	0,3	< 0,1	0,1
Thickness [Microns]	1 - 5	1 - 4	1 - 4	1 - 4	1 - 4	1 - 4	1 - 4	1 - 4	1 - 4	1	0,5
Color	Gold	Silver Grey	Light Gold	Silver Grey	Blue Grey	Dark Grey	Dark Grey	Dark Grey	Off Gold	Black	Metallic Black
Max. Working Temperature	600 C 1100 F	400 C 750 F	550 C 1050 F	700 C 1300 F	800 C 1475 F	900 C 1650 F	1200 C 2200 F	850 C 1550 F	660 C 1100 F	200 C 400 F	400 C 750 F
Special Characteristics	Good wear and corrosion characteristics for general purpose use; biocompatible	High hardness; added carbon for lubricity; good wear resistance	Biocompatible; corrosion resistance; good wear; decorative color	Good adhesion; high toughness; corrosion resistant	High hardness and good corrosion resistance	High hardness and good corrosion resistance; very high oxidation resistance	Highest hardness and good corrosion resistance; high thermal threshold	High oxidation and wear resistance; high hardness; corrosion resistance	High wear resistance; good lubricity; corrosion resistance	Dry lubricant film; excellent adhesion; low coefficient of friction	Dry lubricant film; smooth surface; low coefficient of friction
Applications	Machining of iron based materials; metal and plastic forming; standard coating for general purpose; medical implants	Machining of difficult to machine steel alloys; milling and tapping; excellent for stamping, punching and forming	Reduces the build-up on edges when machining aluminum and titanium alloys; decorative industry	Machining copper and non-ferrous materials; non-cutting applications like molds and dies; machining parts	Universal high-performance coating for drilling, milling, reaming and turning; dry machining; high speed tooling	Machining hardened steel; dry and high speed machining; excellent for stainless steel and nickel-based high-temperature alloys	Excellent for machining hard, dry milling; abrasive materials; high speed operations	Machining metal where other coatings reach their limits of thermal stability; high speed milling under dry or semi-dry conditions	Excellent for milling & turning titanium; Inconel materials	Machining aluminum; for ball bearings, plastic parts, plastic injection molds, engine components, shafts, gears, fasteners, wear plates; vacuum/space applications	Milling, tapping, punching and stamping; prevents built-up edges; optimizes release during forming applications

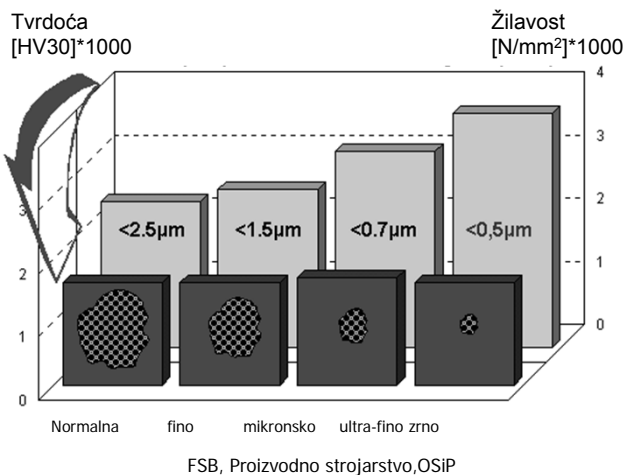
FSB, Proizvodno strojarstvo, OSiP

Izvor: ACT

POSTUPCI OBRADJE ODVAJANJEM
Visokobrzinska obrada

Visokobrzinske obrade - materijali i prevlake reznih alata

Tvrdoća i žilavost TM ovisno o veličini zrna karbida



POSTUPCI OBRADJE ODVAJANJEM
Visokobrzinska obrada

Visokobrzinske obrade - materijali i prevlake reznih alata

Gradacija TM prema veličini zrna karbida


Gühring

Sandvik

Nano grain	<math>< 0,1\ \mu\text{m}</math> (100 nm)
Ultra fine grain	0,1-0,5 μm
Finest grain	0,5-0,7 μm
Fine grain	0,7-1,5 μm
Normal grain size	1,5-2,5 μm

Nano Series	0,1-0,3 μm av. WC grain size
Ultra Fine	0,3-0,5 μm av. WC grain size
Extra Fine	0,5-0,9 μm av. WC grain size
Fine	1,0-1,3 μm av. WC grain size
Medium	1,4-2,0 μm av. WC grain size
Medium Coarse	2,1-3,4 μm av. WC grain size
Coarse	3,5-4,9 μm av. WC grain size
Extra Coarse	5,0-7,9 μm av. WC grain size
S-Grades	8,0-14 μm av. WC grain size

FSB, Proizvodno strojarstvo, OSiP



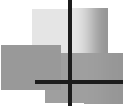
POSTUPCI OBRADJE ODVAJANJEM Visokobrzinska obrada

Visokobrzinske obrade - materijali i prevlake reznih alata

OSNOVNE NAPOMENE O CBN-u

Kubni nitrid bora (Cubic boron nitride -CBN) je kristalni materijal kojega nema u prirodi. Po tvrdoći je odmah do dijamanta. U polikristalnoj formi daje oštricu izvrsnih kvaliteta i zbog toga ima veću postojanost, te daje obrađenu površinu veće kvalitete. To posebno dolazi do izražaja pri obradi materijala veće tvrdoće i super-legura. Termički je stabilan do 1000°C pa i više. Još jedna značajna prednost PCBN je da nije na bazi C, pa nema reakcije s čeličnim materijalima (materijali na bazi Fe), kao što je to slučaj s dijamantom na povišenim temperaturama. To mu daje veliku prednost pri obradi željeznih materijala i super-legura.

FSB, Proizvodno strojarstvo, OSiP



POSTUPCI OBRADJE ODVAJANJEM Visokobrzinska obrada

Visokobrzinske obrade - materijali i prevlake reznih alata

Razvijen u firmi General Electric 1962. godine.

Rezni alati na bazi PCBN rade se na dva načina:

- » Nanošenjem sloja CBN na pločicu od TM, ili
- » Pločice od CBN (dosta visoka cijena)

CBN je kemijski inertan u odnosu na Fe i Ni, ima visoku otpornost na oksidaciju, te je stoga:

- » Pogodan za obradu materijala povećane tvrdoće
- » Može se primijeniti pri obradi super-legura na bazi Ni i na bazi Co

CBN se primjenjuje kao abraziv.

FSB, Proizvodno strojarstvo, OSiP



POSTUPCI OBRADJE ODVAJANJEM Visokobrzinska obrada

Visokobrzinske obrade - materijali i prevlake reznih alata

Primjena CBN i PCBN pri obradi otvrdnutih materijala dala je izvrsne rezultate. Puni potencijali mogu se ostvariti samo cjelovitim (sustavnim) pristupom, tj. uvažavajući pri tome zahtjeve koje trebaju ispuniti alatni stroj, prihvat alata i obratka, kompenzacija alata, kvaliteta rezne oštrice i td.

FSB, Proizvodno strojarstvo, OSiP



POSTUPCI OBRADJE ODVAJANJEM Visokobrzinska obrada

Visokobrzinske obrade - materijali i prevlake reznih alata

Primjer značenja sadržaja veziva (Co) i vrste prevlake

TVRDI METAL - TM

Alati s $D \leq 12$ mm:	CIJELI ALAT JE OD TM (SOLID CARBIDE TOOLS)
Osnovni materijal:	TM sitnozrnati (veličina zrna manja od 1 μ m)
Sadržaj kobalta (Co):	u rasponu 8-12%
Prevlake:	TiAlN; Pri tome je važno paziti na omjer Ti/Al; Najbolji rezultati su postignuti pri 0.35Ti i 0.65Al; Pri obradi čelika tvrdoće 57HRC prevlaka (Ti 0.35 Al 0.65 N) dala je bitno bolje rezultate od prevlake TiCN
Alati s $12\text{mm} \leq D \leq 35$ mm:	ALATI S PLOČICAMA OD TM (CARBIDE INSERT TOOLS)
Prevlake:	TiCN za materijale tvrdoće ≤ 42 HRC TiAlN za materijale tvrdoće ≥ 42 HRC

FSB, Proizvodno strojarstvo, OSiP

POSTUPCI OBRADJE ODVAJANJEM Visokobrzinska obrada

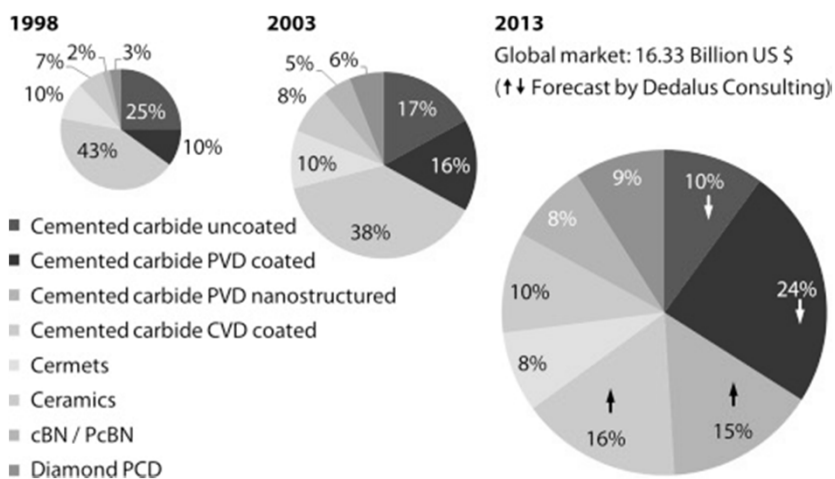
Visokobrzinske obrade - materijali i prevlake reznih alata

Danas su gotovo 4/5 pločica koje se primjenjuju u obradbi metala rezanjem prevučene tvrdim prevlakama. Popularnost prevlaka je posljedica povećane produktivnosti koja se njima postiže, odnosno povećanja postojanosti alata i mogućnosti obradbe većim brzinama rezanja.

Dobar dio tvrdih prevlaka nanosi se CVD postupkom (chemical vapor deposition). Premda se pozitivni učinci CVD prevlaka ne mogu poreći, CVD proces na visokim temperaturama može imati negativne učinke na karbidnu osnovu. Visokotemperaturni CVD postupak prevlačenja provodi se na temperaturi od približno 1000°C, pri kojoj često počinje gubitak ugljika na periferiji substrata. Uslijed toga na površini nastaje krti sloj, koji se obično naziva eta-faza. Negativni učinci su mnogostruki na bridovima i vrhovima gdje se spajaju dvije ili više površina. Stoga se prije prevlačenja, bridovi pločice obično zaoble ili skose kako bi se negativni učinci na čvrstoću pločice minimizirali.

FSB, Proizvodno strojarstvo, OSiP

POSTUPCI OBRADJE ODVAJANJEM Visokobrzinska obrada



Izvor: Kirsten Bobzin: High-performance coatings for cutting tools, cirpj 2017

FSB, Proizvodno strojarstvo, OSiP

POSTUPCI OBRADJE ODVAJANJEM

Visokobrzinska obrada

Visokobrzinske obrade - materijali i prevlake reznih alata

Druga tehnologija prevlačenja je PCVD (Plasma assisted chemical vapour deposition), koja se provodi na temperaturama od približno 600°C. Nedugo se pojavila i tehnologija MTCVD (medium-temperature chemical vapour deposition) koja se provodi na temperaturama od približno 800°C.

PVD (physical vapour deposition) postupak prevlačenja se provodi na temperaturama od 400-500°C, pri kojima ne nastaje eta-faza. Općenito govoreći, PVD postupak omogućuje oštre bridove koji i poslije prevlačenja zadržavaju dobra mehanička svojstva. Takve oštrice olakšavaju smicanje i stoga generiraju manje sile i manje topline. Primjena PVD prevlaka stoga može značiti manju potrošnju energije, manju sklonost stvaranju naslage i bolju kvalitetu obrađene površine. Najveća prednost PVD postupka je mogućnost primjene kod alatnih i brzoreznih čelika.

FSB, Proizvodno strojarstvo, OSiP

POSTUPCI OBRADJE ODVAJANJEM

Visokobrzinska obrada

Visokobrzinske obrade - materijali i prevlake reznih alata

Svojstva najvažnijih PVD prevlaka za "suhu" VBO - Gühring

	TiN	TiAlN	TiCN	Višesloj. TiAlN	DLC	MOVIC®
Temperatura prevlačenja	500°C 930°F	350°C 660°F	500°C 930°F	470°C 905°F	200°C 390°F	150°C 300°F
Max. radna temperatura	600°C 1110°F	800°C 1470°F	450°C 840°F	800°C 1470°F	800°C 1470°F	800°C 1470°F
Structura	1 sloj	1 sloj	Više sloj.	Više sloj.	1 sloj	1 sloj
Broj slojeva	1	1	do 7	7-42	1	1
Boja	zlatna	tamno-ljubiča.	sivo-ljubičas.	Ljubiča.-crvena	sivo-ljubičas.	tamno-maslin.
Tvrdoća	2200	3300	3000	3500	6000	30
Koeficijent trenja	0.4	0.3	0.25	0.15	0.05-0.15	30
Koef. toplin. vod. [kW/mK]	0.07	0.05	0.1	0.05	0.1	0.1

FSB, Proizvodno strojarstvo, OSiP

POSTUPCI OBRADJE ODVAJANJEM
Visokobrzinska obrada

Visokobrzinske obrade - materijali i prevlake reznih alata

PVD prevlake za rezne alate

Materijal obratka	Izvrсна	Dobra	Zadovolj.
Visokolegirani, niskolegirani i brzorezni čelici kod srednjih brzina obrade i VBO	TiAIN	TiCN	TiN
Visokolegirani, niskolegirani i brzorezni čelici kod malih brzina obrade, tj. HSS glodala	TiCN	TiAIN	TiN
Čelični lijevovi	TiAIN	TiCN	TiN
Al i Al-Si legure, lijevani aluminij	TiAIN	TiCN	CrN
Cu i Cu legure, bronca, aluminijska bronca, legure srebra, Ti i Ti legure	CrN	TiAIN	TiCN
Ni i Ni legur, tvrde legure, Inconel	TiAIN	TiCN	
Plastike	TiAIN	CrN	TiCN
Grafit	(dijamant)		TiAIN

FSB, Proizvodno strojarstvo, OSiP


POSTUPCI OBRADJE ODVAJANJEM
Visokobrzinska obrada

Visokobrzinske obrade - materijali i prevlake reznih alata

PVD prevlake za alate za štancanje, prešanje i oblikovanje deformiranjem

Materijal obratka	Izvrсна	Dobra	Zadovolj.
Visokolegirani i niskolegirani čelični limovi i ploče; ploče i limovi brzoreznog čelika	TiCN	TiAIN	TiN
Al i Al legure	CrN	TiAIN	TiCN
Ti i Ti legure, Cu i Cu legure	CrN	TiAIN	TiCN
Ni legure, dragocjeni metali, zlato, platina	TiAIN	TiCN	
Plastike, sinter prašci, staklo	TiAIN	CrN	TiCN

FSB, Proizvodno strojarstvo, OSiP



POSTUPCI OBRADE ODVAJANJEM Visokobrzinska obrada

Visokobrzinske obrade - materijali i prevlake reznih alata

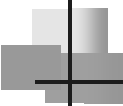
Osnovne karakteristike najčešćih prevlaka

Titanov nitrid (TiN)

Titanov nitrid je svjetla, zlatna, keramička prevlaka koja se na metalne površine nanosi PVD (physical vapour deposition) postupkom. Prevlaka ima visoku tvrdoću, mali koeficijent trenja i srednju otpornost oksidaciji.

Primjenjuje se vrlo često kako kod reznih alata, tako i kod alata za deformacijske procese (alati za prešanje). Zbog visoke tvrdoće i malog koeficijenta trenja ima veliku primjenjivost i učinkovitost u općim uvjetima smanjenja trošenja.

FSB, Proizvodno strojarstvo, OSiP



POSTUPCI OBRADE ODVAJANJEM Visokobrzinska obrada

Visokobrzinske obrade - materijali i prevlake reznih alata

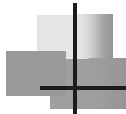
Kromov nitrid (CrN)

Kromov nitrid je svjetla srebrno-siva keramička prevlaka koja se na metalne površine nanosi PVD (physical vapour deposition) postupkom. Prevlaka ima visoku tvrdoću, izvrsnu žilavost te jako dobru otpornost oksidaciji.

CrN u nekim uvjetima nadmašuje prevlake na bazi titana. Otporan je na koroziju i adhezijsko trošenje, posebno kod obrade neželjeznih metala. Kod obrade bakra, aluminijske ili titana može nadmašiti prevlaku od TiN za 50-100%.

CrN može se nanositi na temperaturi od 205°C ako je potrebno, ali može se koristiti i do 600°C (TiN do 480°C). Uobičajena temperatura nanošenja je 405°C. Koeficijent trenja nije tako dobar kao kod TiN.

FSB, Proizvodno strojarstvo, OSiP



POSTUPCI OBRADJE ODVAJANJEM Visokobrzinska obrada

Visokobrzinske obrade - materijali i prevlake reznih alata

Titanov karbonitrid (TiCN)

TiCN je razvijen za zahtjevnije uvjete. Prevlaka je obično debela 3 μm i ima tvrdoću 3000 HV (TiN ima tvrdoću 2500 HV).

U većini slučajeva se koristi za rezne alate u prekidnim obradama i kod obrade čelika visoke čvrstoće.

Prevlaka TiCN se nanosi u vakuumu kod temperature od $\sim 450^\circ\text{C}$

Prevlaka je višeslojna strukture, a ima plavo-sivu boju.

FSB, Proizvodno strojarstvo, OSiP



POSTUPCI OBRADJE ODVAJANJEM Visokobrzinska obrada

Visokobrzinske obrade - materijali i prevlake reznih alata

Titanov aluminij-nitrid (TiAlN)

Titanov aluminij-nitrid je sjajna, plavo/crna keramička prevlaka koja se nanosi na odgovarajuće pripremljenu površinu, primjenom PVD postupka. Prevlaka je iznimne tvrdoće, malog koeficijenta trenja u paru s većinom metalnih površina. Otporna je na koroziju do temperature od 800°C .

Nanosi se u vakuumu na temperaturi od $\approx 410^\circ\text{C}$. Prevlaka je vrlo glatka i ima izvrsnu otpornost na oksidacijsko, abrazijsko i adhezijsko trošenje.

Debljina prevlake 1-4 μm ; Tvrdoća 3000 Hv;

Najveća radna temperatura 800°C ;

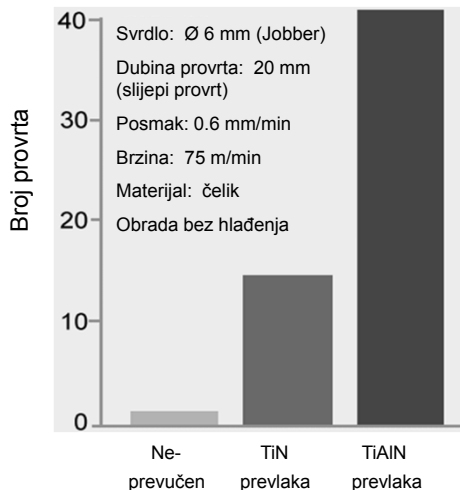
Koeficijent trenja u paru s čelikom (suho) 0.4

Primjenjuje se kod "suhih" obrada i obrada kaljenih materijala.

FSB, Proizvodno strojarstvo, OSiP

POSTUPCI OBRADJE ODVAJANJEM
Visokobrzinska obrada

Visokobrzinske obrade - materijali i prevlake reznih alata



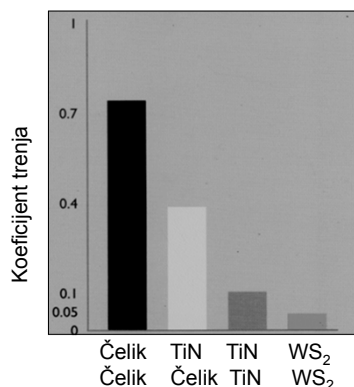
Prevlaka TiAlN nadmašuje TiN prevlaku u mnogim primjenama kad se obrađuju željezni materijali, a posebno kad je posrijedi obrada velikim posmacima i brzinama.

Zbog dobre otpornosti na oksidaciju (do 800°C) izvrsna je za "suhu" obradu.

FSB, Proizvodno strojarstvo, OSiP

POSTUPCI OBRADJE ODVAJANJEM
Visokobrzinska obrada

Visokobrzinske obrade - materijali i prevlake reznih alata



Volframov disulfid (WS₂)

Volframov disulfid je prevlaka vrlo malog koeficijenta trenja koja se primjenjuje na sobnoj temperaturi. Razvila ju je NASA za suho podmazivanje komponenti svemirskih letjelica koje rade u vakuumu. Može se koristiti za sve metale pa i za neke plastike. Može se nanositi na kaljene metale i na niz prevlaka.

FSB, Proizvodno strojarstvo, OSiP

POSTUPCI OBRADJE ODVAJANJEM Visokobrzinska obrada

Visokobrzinske obrade - materijali i prevlake reznih alata

Molibdenov disulfid MoS₂

MoS₂ je prevlaka s vrlo malim koeficijentom trenja (za suho podmazivanje) u paru s velikom većinom materijala i pri različitim uvjetima okoline (u širokom rasponu brzina, temperatura i tlakova). U vlažnoj atmosferi gubi svojstva malog koeficijenta trenja. Odgovarajućim dodacima može se primjenjivati i u vlažnim uvjetima.

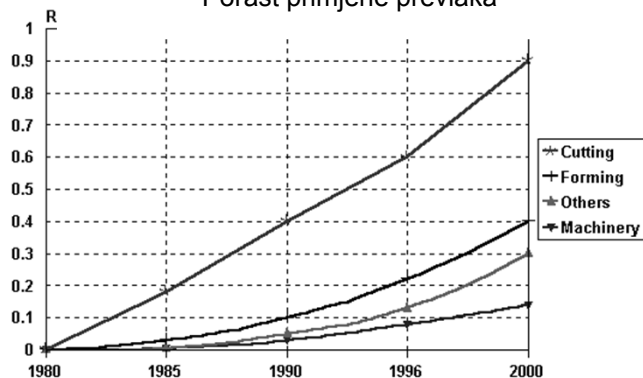
Daljnji razvoj ide u smjeru primjene MoS₂ kao jedne prevlake u višeslojnim prevlakama, čija bi zadaća bila smanjiti koeficijent trenja.

FSB, Proizvodno strojarstvo, OSiP

POSTUPCI OBRADJE ODVAJANJEM Visokobrzinska obrada

Visokobrzinske obrade - materijali i prevlake reznih alata

Porast primjene prevlaka



Source: ICMCTF, San Diego, 1995

FSB, Proizvodno strojarstvo, OSiP

POSTUPCI OBRADJE ODVAJANJEM
Visokobrzinska obrada

Visokobrzinske obrade - materijali i prevlake reznih alata

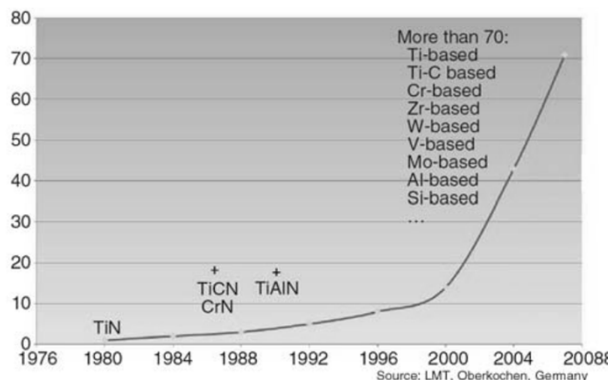
USPOREDBA PREVLAKA

	TiN	TiCN	TiAlN	AlTiN
Tvrdoća (Vickers)	2300 (81 HRC)	3000 (87 HRC)	2800 (85 HRC)	4500 (90HRC)
Relativna žilavost (1=najžilaviji)	3	1	2	4
Temperatura oksidacije	550 °C (1050 °F)	400 °C (750 °F)	800 °C (1450 °F)	800 °C (1450 °F)
Koeficijent trenja	0,65	0,45	0,70	0,45
Debljina prevlake	2-4	2-4	2-4	2-4
Hrapavost površine, Ra	0,20	0,17	0,40	0,15

FSB, Proizvodno strojarstvo, OSiP

POSTUPCI OBRADJE ODVAJANJEM
Visokobrzinska obrada

Visokobrzinske obrade – o prevlakama

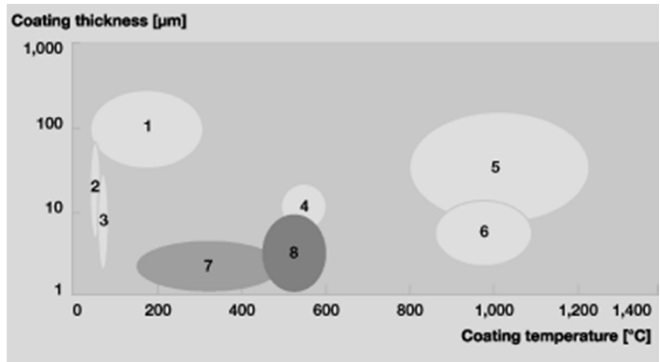


Razvoj prevlaka

FSB, Proizvodno strojarstvo, OSiP

POSTUPCI OBRADJE ODVAJANJEM
Visokobrzinska obrada

Visokobrzinske obrade – o prevlakama



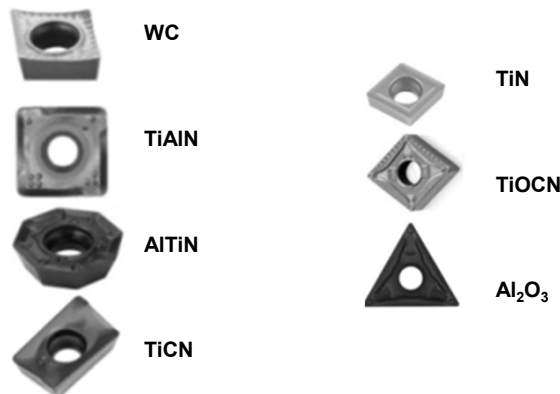
1. Plazma nanošenje
2. Elektrolitsko i kemijsko nanošenje
3. Fosfatiranje
4. Nitiranje (bijeli sloj)
5. Boriranje
6. CVD
7. PVD, PACVD
8. P3e TM (Pulse Enhanced Electron Emission)

Debljine slojeva i temperature nanošenja
za pojedine tehnike prevlačenja


Izvor: Oerlikon Balzers

FSB, Proizvodno strojarstvo, OSiP

POSTUPCI OBRADJE ODVAJANJEM
Visokobrzinska obrada



FSB, Proizvodno strojarstvo, OSiP




POSTUPCI OBRADJE ODVAJANJEM
Visokobrzinska obrada

Visokobrzinske obrade - materijali i prevlake reznih alata

EFEKTI PRIMJENE PREVUČENIH ALATA

- Veći posmak i brzina rezanja
- Veća postojanost oštrice alata
- Dulje zadržavanje tolerancije
- Bolja kvaliteta obrađene površine

FSB, Proizvodno strojarstvo, OSiP



POSTUPCI OBRADJE ODVAJANJEM
Visokobrzinska obrada

Visokobrzinske obrade - materijali i prevlake reznih alata

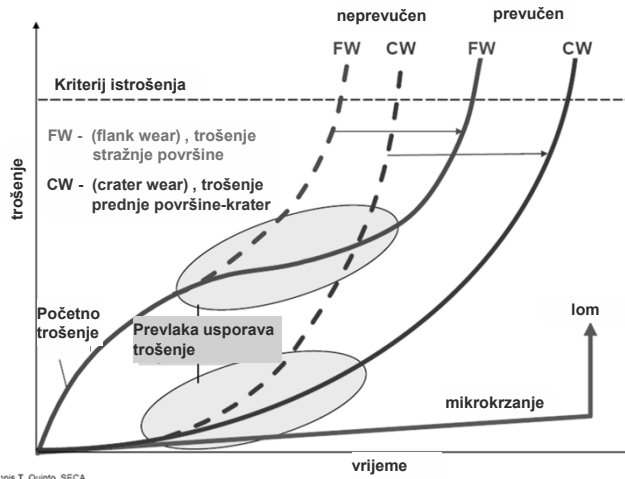
ZAŠTO SE PREVUČENIM ALATIMA POVEĆAVA PRODUKTIVNOST

- Toplinska izolacija – glavni uzrok ispada alata je toplina. Prevlaka formira toplinsku barijeru, sprečava ulazak topline u alat i toplinu vraća natrag u odvojenu česticu. Tako štiti osnovu alata i produljuje vijek trajanja. Neke prevlake kao TiAlN i AlTiN, u određenim uvjetima, za vrijeme obrade formiraju tvrdi sloj aluminijevog oksida koji je izvrstan izolator.
- Mehanička postojanost – abrazivno djelovanje odvojenih čestica u kombinaciji s mikronskim neravninama na površinama alata izaziva trošenje osnove i same oštrice. Visoka tvrdoća, mali koeficijent trenja i smanjena hrapavost prevlake omogućuju lakše odvajanje odvojene čestice od alata. Time se smanjuje mogućnost formiranja BUE i trošenje, tj. povećava postojanost.
- Kemijska otpornost – uz toplinu, tlak, SHIP i materijal obratka, na alat i oštricu djeluju i kemijska opterećenja. Kada u tim uvjetima dođe do kontakta elemenata sklonih reakciji, dolazi do trošenja neprevučениh alata.

FSB, Proizvodno strojarstvo, OSiP

POSTUPCI OBRADJE ODVAJANJEM
Visokobrzinska obrada

Visokobrzinske obrade – utjecaj prevlaka na trošenje



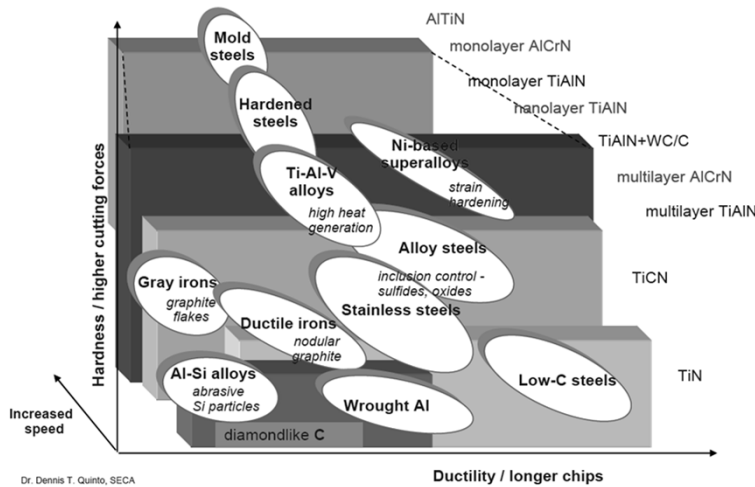
vis T. Quinto, SECA

FSB, Proizvodno strojarstvo, OSiP

Izvor: Dr. Dennis T. Quinto, SECA

POSTUPCI OBRADJE ODVAJANJEM
Visokobrzinska obrada

Visokobrzinske obrade – izbor prevlake



Dr. Dennis T. Quinto, SECA

FSB, Proizvodno strojarstvo, OSiP

Izvor: Dr. Dennis T. Quinto, SECA

POSTUPCI OBRADJE ODVAJANJEM
Visokobrzinska obrada

Visokobrzinske obrade

Preporuke parametara obrade kod VBO kaljenog čelika (54-58 HRC) prstastim glodalima od TM s TiC,N ili TiAlN-prevlakama

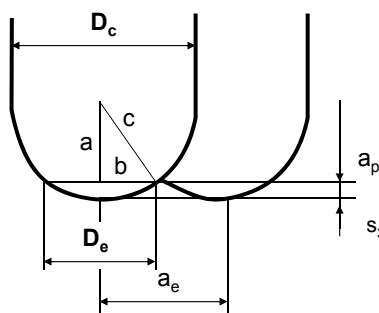
	"Gruba"	"Srednja"	Završna
v_c m/min	100	150-200	200-250
a_p mm	6-8 % prom. glod.	3-4% prom. glod.	0,1-0,2
a_e mm	35-40% prom. glod.	20-40% prom. glod.	0,1-0,2
f_z mm/z	0,05-0,1	0,05-0,15	0,02-0,2

Preporuke se smatraju samo referentnim vrijednostima (mjenjaju se s uvjetima obrade). Brzine su određivane obzirom na stvarni promjer (D_e).

FSB, Proizvodno strojarstvo, OSiP

POSTUPCI OBRADJE ODVAJANJEM
Visokobrzinska obrada

Visokobrzinske obrade



Stvarni (efektivni) promjer, D_e

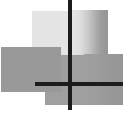
$$D_e = 2b = 2\sqrt{c^2 - a^2} = 2\sqrt{\left(\frac{D_c}{2}\right)^2 - \left(\frac{D_c}{2} - a_p\right)^2}$$

$$D_e = 2\sqrt{a_p \cdot (D_c - a_p)}$$

s_3 Stvarna (efektivna) brzina rezanja, v_e , mmin

$$v_e = D_e \pi n$$

FSB, Proizvodno strojarstvo, OSiP



POSTUPCI OBRADJE ODVAJANJEM Visokobrzinska obrada

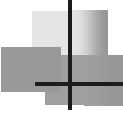
Visokobrzinske obrade

Kod visokobrzinskih obrada, prihvat i balans alata imaju izrazito veliku važnost.

Iskustveno se smatra (SANDVIK) da radijalni udar od 0,01 mm može smanjiti vijek reznoga alata za 50%, a pored toga smanjuje i kvalitetu obrađene površine.

SANDVIK je eksperimentirao s masom od 0,25 grama koju je dodao na alat mase 1,25 kg, prihvata ISO 40, potpuno balansiran, te pri 15000 min⁻¹ izmjerio debalans od 12 N.

FSB, Proizvodno strojarstvo, OSiP



POSTUPCI OBRADJE ODVAJANJEM Visokobrzinska obrada

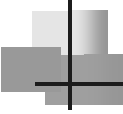
Visokobrzinske obrade

Jedan od značajnih centara za istraživanja u području VBO je i Eng. Research Center (ERC), Ohio State University, Columbus, USA

Na temelju istraživanja (koja traju i dalje) dao je slijedeće preporuke kod primjene VBO:

- Odaberite simetričnu konstrukciju alata. Obratite pozornost na prihvat. Bilo bi dobro početi s HSK prihvatom.
- Presjek odvojene čestice držati konstantnim, što je vrlo važno za stabilnost procesa rezanja. Isti presjek čestice znači jednoliko opterećenje i naprezanje, pa se sprečava pojava vibracija. Uzeti u obzir kod planiranja putanje alata.
- Primjenjujte višeslojne prevlake. Pri obradi čelika treba koristiti prevlake TiN, TiCN, TiN i dati prednost PVD postupku nad CVD postupkom prevlačenja. Ovakva kombinacija daje veću postojanost i bolji prijenos topline.

FSB, Proizvodno strojarstvo, OSiP



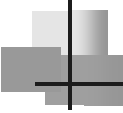
POSTUPCI OBRADE ODVAJANJEM Visokobrzinska obrada

Visokobrzinske obrade

- Kod obrade otvrdnutih čelika koristite alate s ravnom prednjom površinom. Neka istraživanja su pokazala da je kod primjene VBO za obradu ovakvih materijala lomač odvojene čestice nepotreban. Reljefna geometrija prednje površine kojom se pomaže lom čestice, kod VBO može oslabiti reznu oštricu i povećati trošenje na prednjoj površini alata.
- Za odvođenje čestica preporuča se korištenje zraka pod visokim tlakom. Preporuča se obrada bez SHIP-a kad god je to moguće. Kod obrade visokim brzinama SHIP i tako vrlo teško može doprijeti u zonu rezanja, pa je kod VBO prvenstvena zadaća SHIP-a odvođenje odvojenih čestica i podmazivanje. To se vrlo dobro može postići kombinacijom stlačenog zraka i ulja ("uljna magla"), što omogućuje dobro odvođenje odvojenih čestica, vrši funkciju podmazivanja, a uzrokuje značajno manji toplinski šok za alat nego uobičajeni SHIP.

Preporuke su utemeljene na simulacijama i verificirane eksperimentima pri obradi čelika H13, tvrdoće 46HRC.

FSB, Proizvodno strojarstvo, OSiP



POSTUPCI OBRADE ODVAJANJEM Visokobrzinska obrada

Visokobrzinske obrade - bušenje

Ključni faktori za potpuni uspjeh obrade provrta

Sve procese obrade-barem u jednoj fleksibilnoj ćeliji (tj. na svakom tipu obradnog centra) trebalo bi provesti "suhu" (ili skoro suho). Da bi to bilo moguće neophodno je testirati "suhu" obradu provrta.

Bilo bi nelogično da se većina operacija obrade obavlja bez SHIP-a, a da se za bušenje mora koristiti sustav za hlađenje s tlakom od 50 bara. Najveće uštede "suhe" obrade nisu, kako se uobičajeno misli, smanjenje troškova odlaganja otpada, već uklanjanje ili pojednostavljenje sustava upravljanja SHIP-om, neovisno da li se primjenjuje središnji, pogonski, sustav SHIP-a ili pojedinačna rješenja za svaki stroj.

FSB, Proizvodno strojarstvo, OSiP

POSTUPCI OBRADE ODVAJANJEM

Visokobrzinska obrada

Visokobrzinske obrade - bušenje

Velika je razlika u primjeni suhe obrade u situacijama kad su oštrice izložene atmosferi (tokarenje, glodanje, i sl.), od primjene suhe obrade kod bušenja dubljih provrta, kad su oštrice svrdla u specifičnim uvjetima. Kad su oštrice izložene atmosferi, velika količina topline odlazi s odvojenom česticom, jer čestica brzo napušta zonu rezanja (prestaje kontakt s obratkom i alatom), tako da i obradak i alat ostaju relativno "hladni".

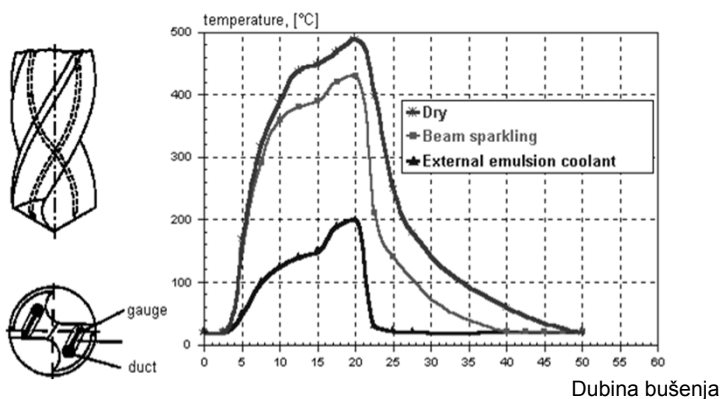
State-of-the-art kod HSM-a uz primjenu visokotlačnog SHIP-a dan je na slijedećim prikazima.

FSB, Proizvodno strojarstvo, OSiP

POSTUPCI OBRADE ODVAJANJEM

Visokobrzinska obrada

Visokobrzinske obrade - bušenje

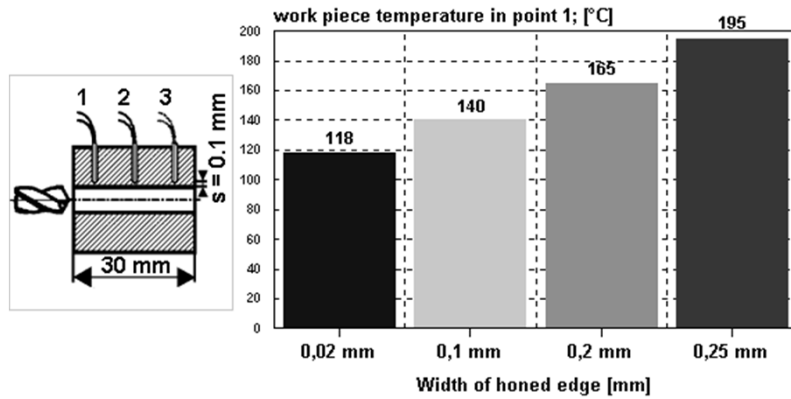


Obradak: visokolegirani čelik X90CrMoV10:
Alat: TM svrdlo d=8.5 mm
Parametri obrade: $a_p=22.5$ mm; $v_c=30$ m/min; $f=0.1$ mm

FSB, Proizvodno strojarstvo, OSiP

POSTUPCI OBRADJE ODVAJANJEM
Visokobrzinska obrada

Visokobrzinske obrade - bušenje



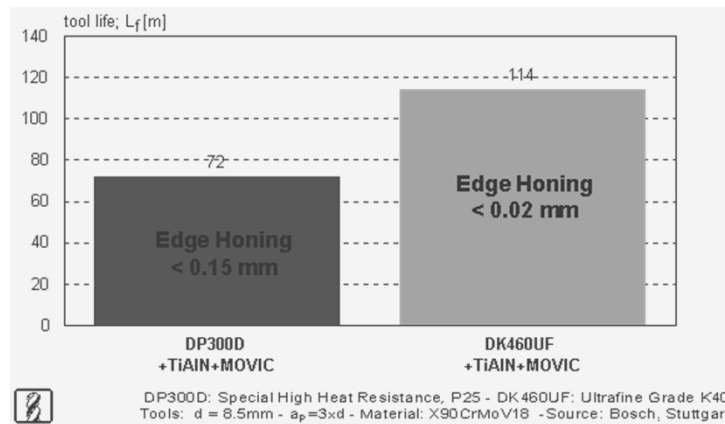
Mat. high alloyed steel - X90CrMoV18 - Tool: solid carbide A+M-coated - $d = 8.5$ mm
 $a_p = 30$ mm - $v_c = 30$ m/min - $f = 0.1$ mm - Measured at WZL Aachen

FSB, Proizvodno strojarstvo, OSiP

POSTUPCI OBRADJE ODVAJANJEM
Visokobrzinska obrada

Visokobrzinske obrade - bušenje

Usporedba postojanosti alata kod "skoro suhe obrade"
bušenjem visokolegiranog čelika

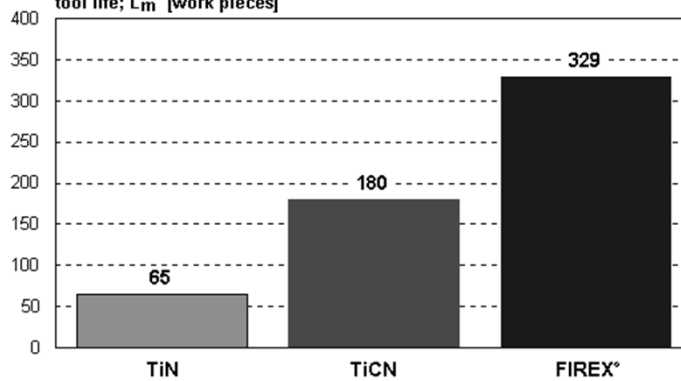


FSB, Proizvodno strojarstvo, OSiP

POSTUPCI OBRADE ODVAJANJEM
Visokobrzinska obrada

Visokobrzinske obrade - bušenje

Tool Life Comparison when Milling Screw Ball Spindles
tool life; L_m [work pieces]



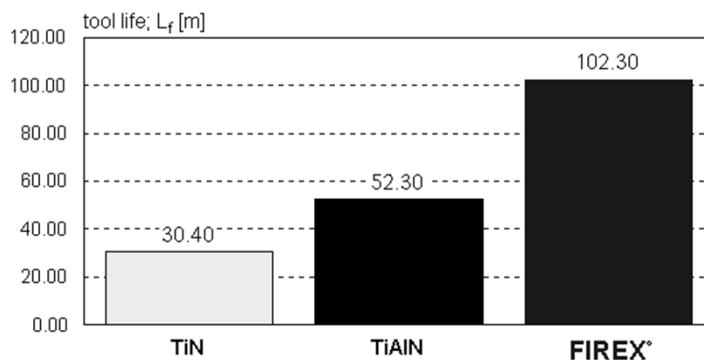
Mat.: 1050 - Cf53 - Tools: $d = 18.8\text{mm}$ - $n = 4200\text{ RPM}$ - $v_f = 1450\text{ m/min}$
 $n = 2800\text{ RPM}$ - $v_f = 1000\text{ m/min}$ - Dry Milling - Source: Löbro, Offenbach

FSB, Proizvodno strojarstvo, OSiP

POSTUPCI OBRADE ODVAJANJEM
Visokobrzinska obrada

Visokobrzinske obrade - bušenje

Tool Life Comparison when Drilling Dry in Cast Iron



Mat.: GG25 - $d = 11.8\text{ mm}$ - $v_c = 110\text{ m/min}$ - $f = 0.4\text{ mm/rev}$ - $a_p = 3 \times d$ - blind holes
 $VB\text{-max} = 0.8\text{ mm}$

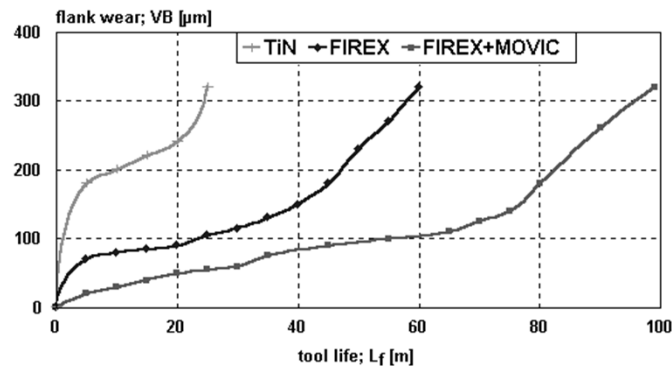
Ako se nakon brušenja ne provede i ponovno prevlačenje, alat se, uslijed nesmetanog prelaska topline brzo troši.

FSB, Proizvodno strojarstvo, OSiP

POSTUPCI OBRADE ODVAJANJEM Visokobrzinska obrada

Visokobrzinske obrade - bušenje

Wear Behavior Comparison when Near-Dry Drilling with Different Coatings



Work piece material: C45 Heat treated steel - Tools: solid carbide - DP300D
 $d = 8.5\text{mm}$ - $a_p = 3 \times d$ - $v_c = 120\text{m/min}$ - $f = 0.18\text{mm/rev}$. - Source: Mercedes, Kassel

FSB, Proizvodno strojarstvo, OSiP

POSTUPCI OBRADE ODVAJANJEM Visokobrzinska obrada

Visokobrzinske obrade - bušenje

Geometrija alata za suhu obradu

Ekonomična primjena suhe obrade moguća je samo uz primjenu pogodne geometrije alata. Geometrija treba omogućiti smanjenje trenja između alata i odvojene čestice.

Uz primjenu postojeće geometrije alata nije moguća ekonomična primjena suhe obrade. Dva su područja optimizacije geometrije alata:

- Smanjenje površine alata koja dolazi u izravni kontakt s obratkom, tj. smanjenje stražnjeg kuta, smanjenje širine fazete i smanjenje kuta spirale.
- Postizanje najvećeg stupnja podmazivanja na površini alata gdje postoji sklonost stvaranju naslage. To se postiže formiranjem otvora za podmazivanje bilo u zavojnicama ili na vrhu svrdla.

FSB, Proizvodno strojarstvo, OSiP

POSTUPCI OBRADJE ODVAJANJEM
Visokobrzinska obrada

Visokobrzinske obrade - materijali i prevlake reznih alata

Materijal prevlake	TiN	TiCN	CrN, CrC,CrCN	TiAlN	TiAlN(ML)	TiAlCN(ML)
Mikrotvrdoća HV0,05	2300 ± 200	3500 ± 500	2000 ± 200	3300 ± 200	3500 ± 500	3500 ± 500
Koef. trenja u paru s čeli.	0.6	0.15	0.2-0.3	0.7	0.7	0.2
Debljina prevlake	1 – 4 µm	1 – 4 µm	1 – <6 µm	1 – 3 µm	2 – 4 µm	2 – 4 µm
Najveća radna temperatura	600°C 1100°F	400°C 750°F	700°C 1300°F	800°C 1450°F	800°C 1450°	800°C 1450°F
Boja prevlake	zlatna	Plavo-siva	Srebrno-siva	antracit	Antracit	old-rose
Glavno karakteristika	Opća namjena	Visoka tvrdoća Dobra otpornost trošenju, povećana žilavost	Dobra adhezija, dobra otpornost koroziji i oksidaciji	Izvrсна otpornost oksidaciji	Izvrсна otpornost oksidaciji	Dobra otpornost oksidaciji
Primjena	<ul style="list-style-type: none"> ○ Obrada Fe materijala ○ Oblikovanje deformacijom ○ Alati za preradu polimera 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Obrada s udarnim meh. Opterećenjima ○ Obrada teško obradljivih materijala ○ VBO uz pojavu srednjevisokih temperatura ○ Oblikovanje deformiranjem 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Obrada bakra ○ Oblikovanje deformacijom ○ Alati za preradu polimera ○ Lijevanje aluminija i magnezija 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Obrada kaljenih materijala ○ Za TM čelona glodala ○ VBO i "suhe" obrade, MQL obrade (semi-dry obrade) 	<ul style="list-style-type: none"> ○ VS prevlak za široki raspon TM, cermeta i HSS alata ○ Izvrсна za obradu ČL, brzoreznih čelika, i Ni vatrootpornih legura ○ VBO obrade i "suhe" i MQL obrade (semi-dry) 	<ul style="list-style-type: none"> ○ VS prevlaka za široki raspon TM, cermeta i HSS alata ○ Izvrсна za postupak bušenja čelika ○ Izvrсна za sve obrade čeličnih materijala, kako uz primjenu SHIP-a, tako i za "suhe" obrade

FSB, Proizvodno strojarstvo, OSiP

POSTUPCI OBRADJE ODVAJANJEM
Visokobrzinska obrada

Visokobrzinske obrade - bušenje

FSB, Proizvodno strojarstvo, OSiP