



UNIVERZITET U NOVOM SADU
FAKULTET TEHNIČKIH NAUKA

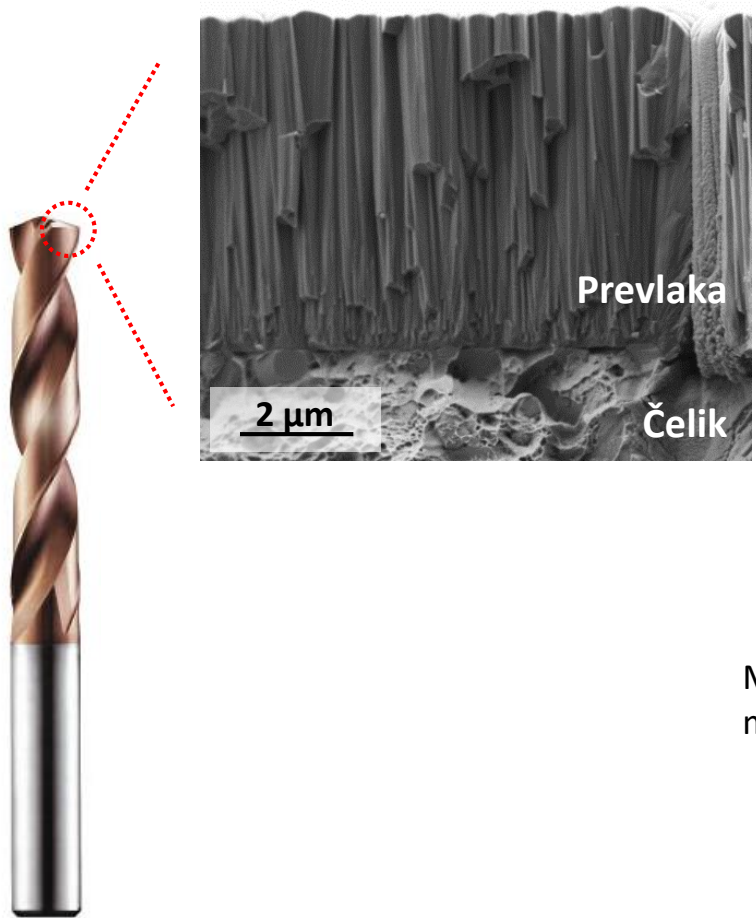


TVRDE PREVLAKE

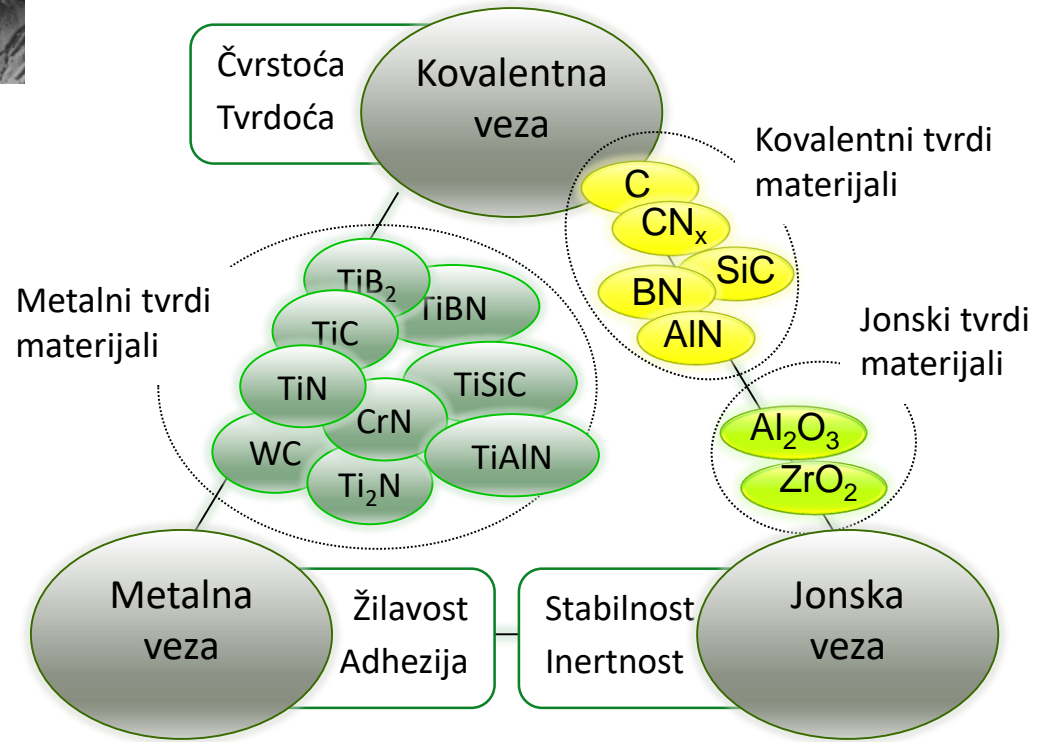
JEDNOSLNOJNE PREVLAKE

Doc. dr Pal Terek
Doc. dr Aleksandar Miletić

ŠTA SU TVRDE PREVLAKE?



Nekoliko μm



PRIMENA TVRDIH PREVLAKA



OBRADA REZANJEM



OBRADA DEFORMISANJEM



LIVENJE POD PRITISKOM



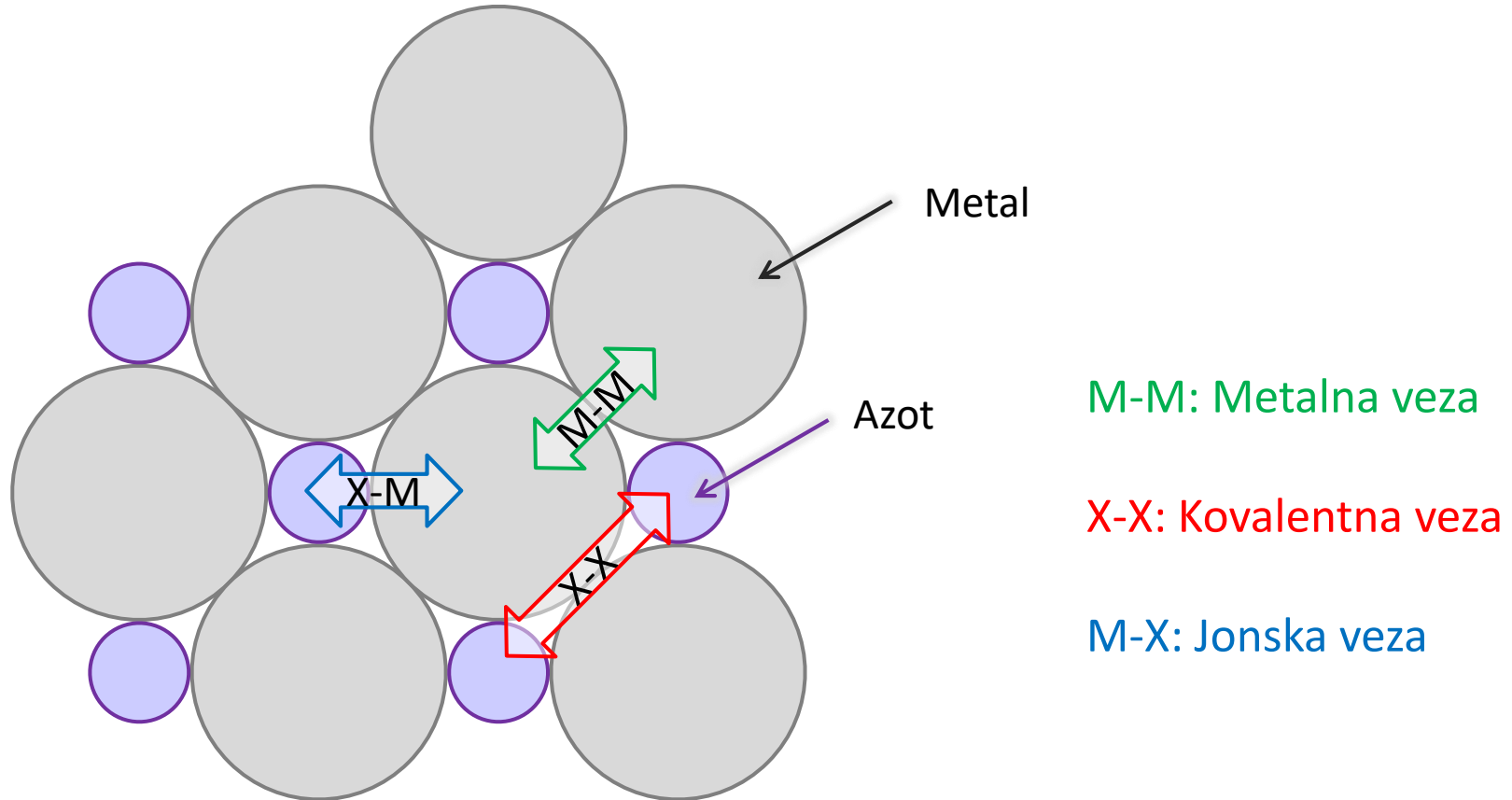
BRIZGANJE PLASTIKE



MEDICINA

VRSTE VEZA U TVRDIM PREVLAKAMA

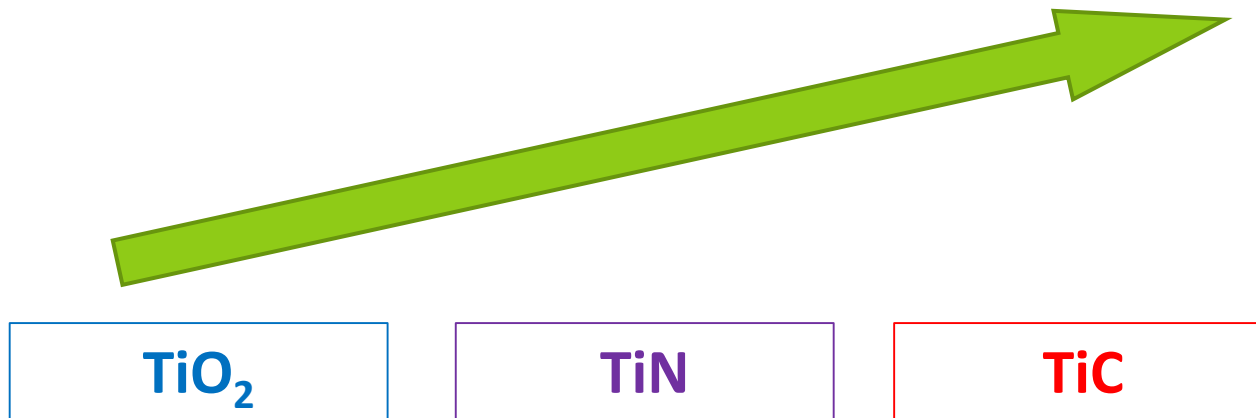
Veze u metalnim nitridima



VRSTE VEZA U TVRDIM PREVLAKAMA

⊙ Primer uticaja veze:

- ⊙ Što je veći udeo jonske veze, manja je tvrdoća.
- ⊙ Titanijum sa kiseonikom, azotom i ugljenikom obrazuje tri različita jedinjenja koja imaju površinski centriranu rešetku. TiO_2 , TiN , TiC
- ⊙ Tvrdoća ovih jedinjenja raste sa porastom udela kovalentnih veza, pa je TiO_2 najmanje, a TiC najveće tvrdoće.



Jednoslojna



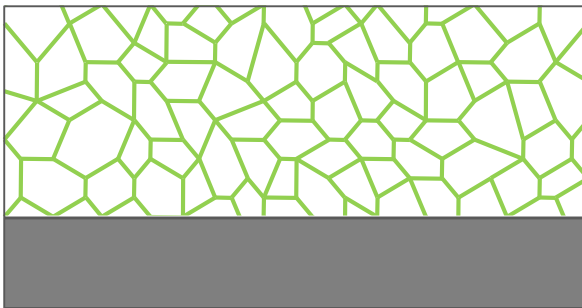
Gradijentna



Višeslojna



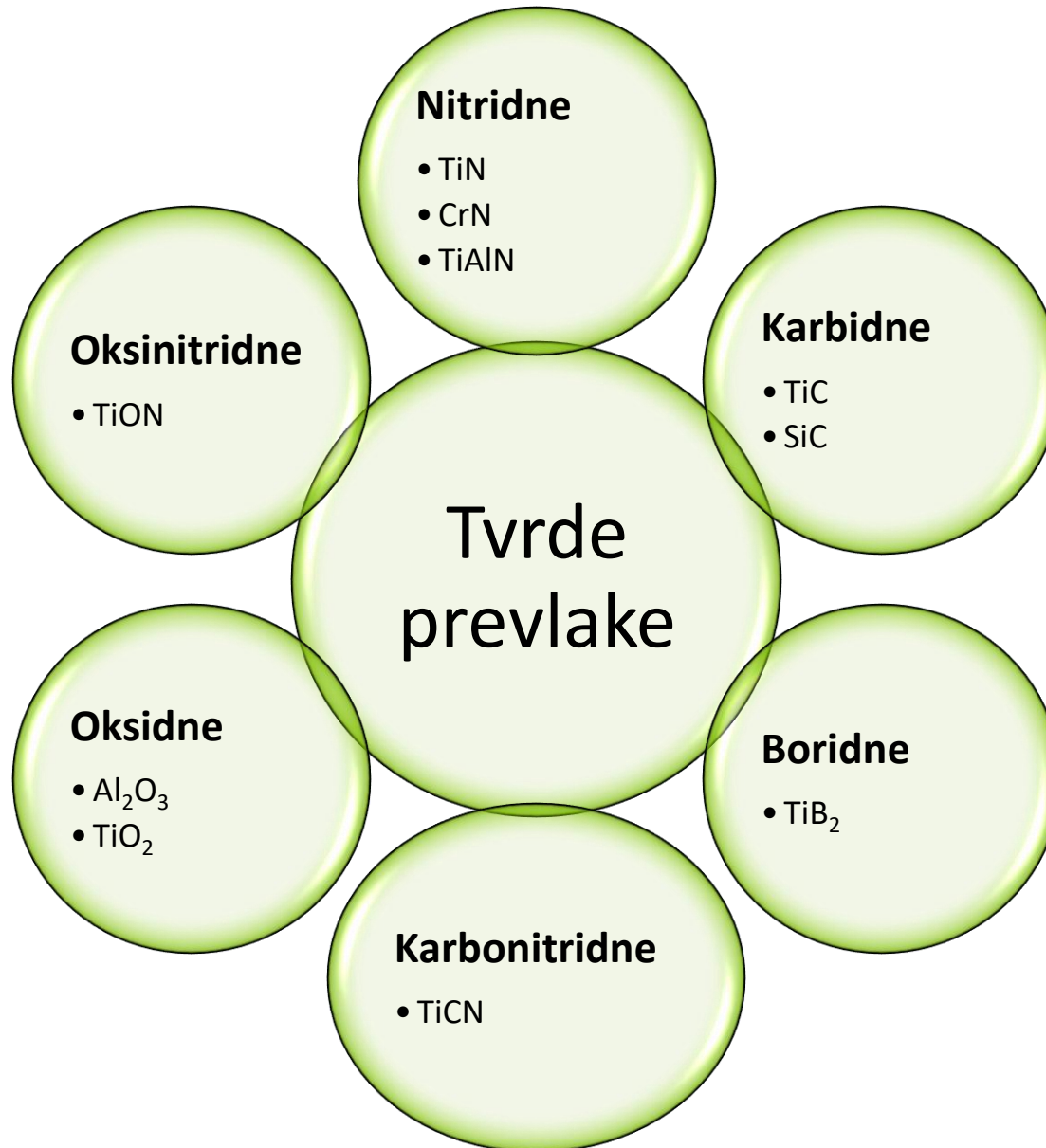
Nanokompozitna



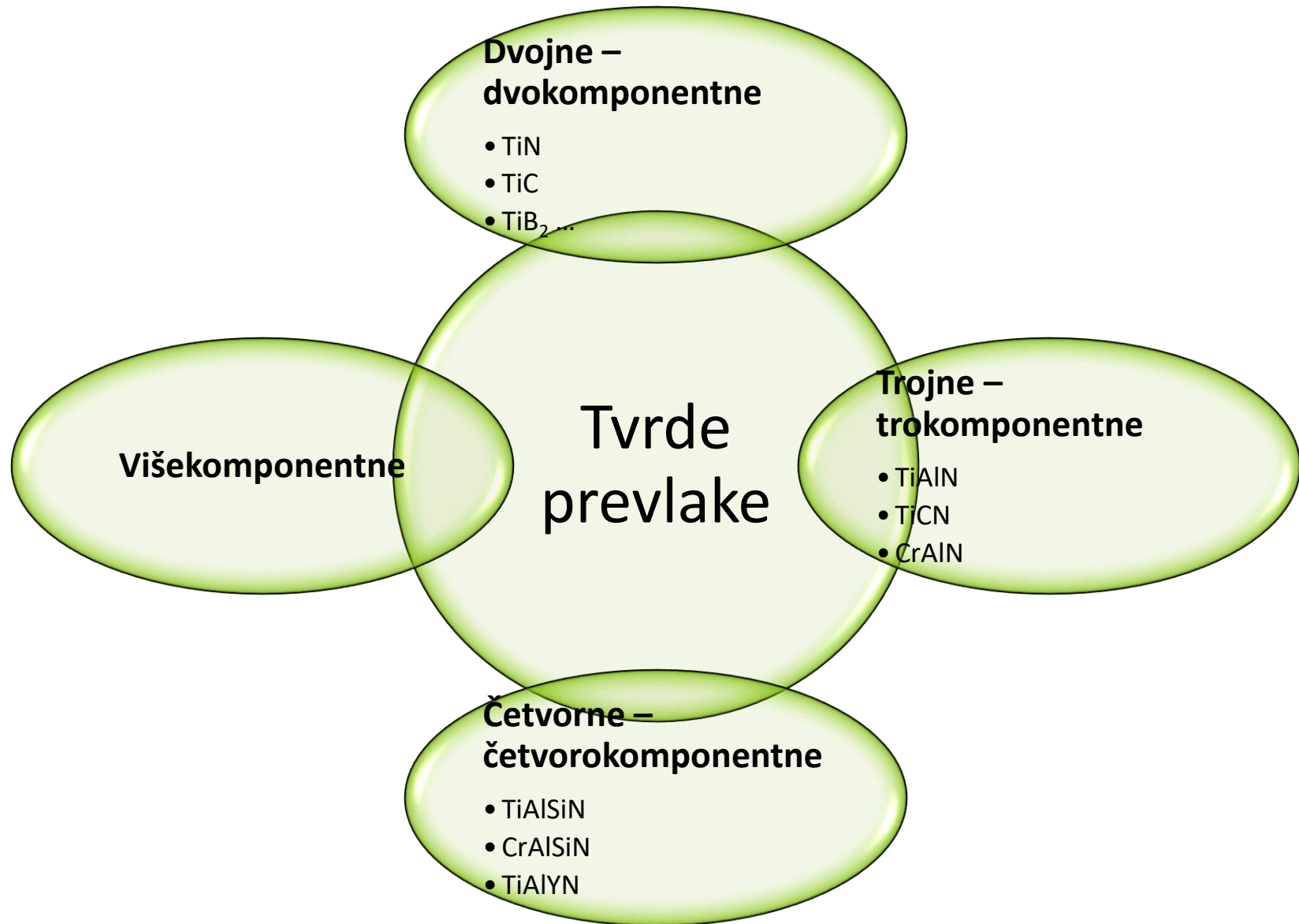
Nanoslojna



PODELA PREMA SASTAVU



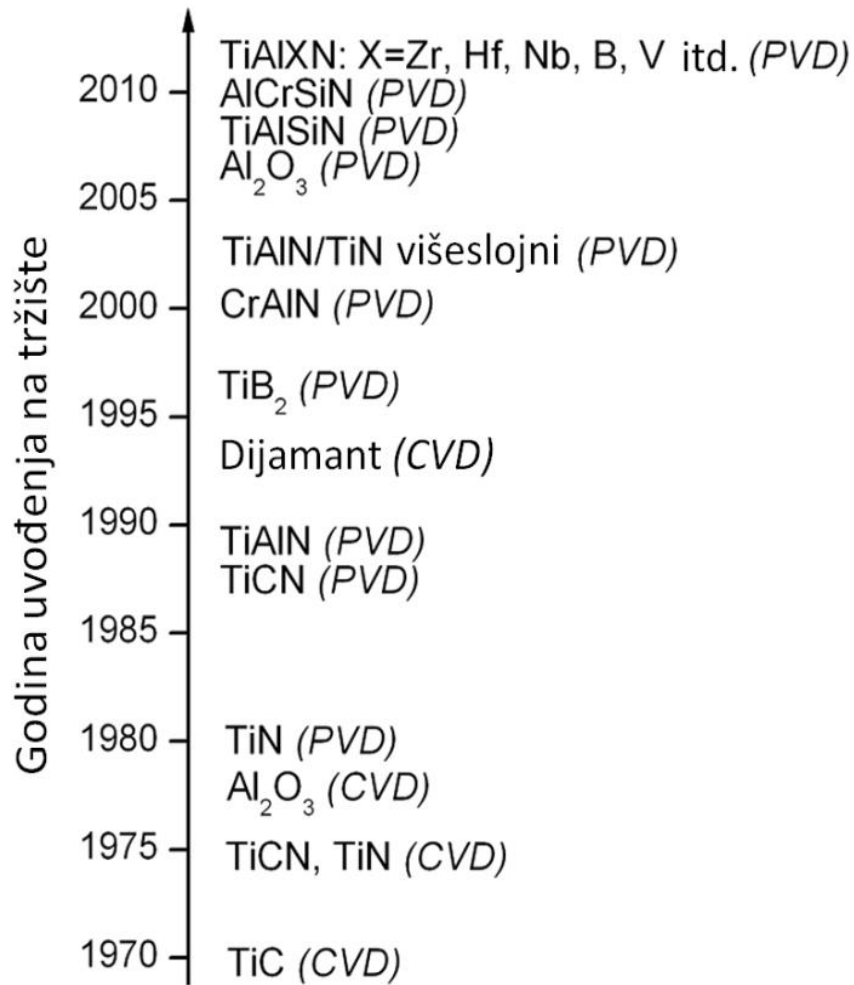
PODELA PREMA BROJU SASTAVNIH ELEMENATA



OSOBI NE KOJE SE ZAHTEVAJU OD PREVLAKA ZA ALATE

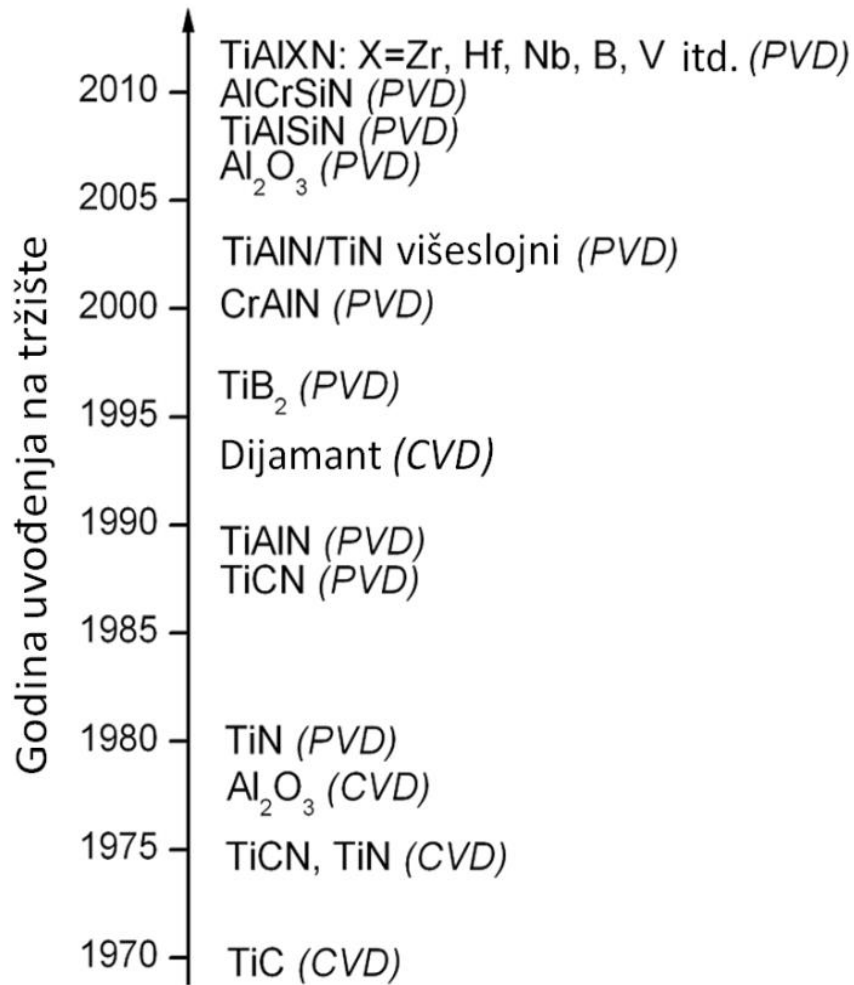
- ⊙ Visoka tvrdoća
- ⊙ Visoka žilavost
- ⊙ Termička stabilnost
- ⊙ Oksidaciona postojanost
- ⊙ Otpornost na koroziju
- ⊙ Hemijska stabilnost
- ⊙ Hemijska inertnost
- ⊙ Nizak koeficijent toplotne provodljivosti
- ⊙ Nizak koeficijent trenja
- ⊙ Glatka površina i visoka adhezija

ISTORIJAT RAZVOJA



- ⊙ Industrijska primena tvrdih prevlaka na alatima za obradu rezanjem započeta je 1969. godine nanošenjem TiC prevlaka debljine 3 - 5 μm na alate od tvrdog metala.
- ⊙ Primenom ovih prevlaka napravljen je značajan napredak u obradi čelika i livenih gvožđa, jer je smanjena tribohemijska reakcija između karbida tvrdog metala i materijala obratka i povećana otpornost na abrazivno habanje.
- ⊙ Nedugo posle razvijene su TiN prevlake koje odlikuje manja tvrdoća ($H_{\text{TiN}} \approx 25 \text{ GPa} < H_{\text{TiC}} \approx 30 \text{ GPa}$), veći koeficijent trenja, ali i bolja hemijska inertnost, manja tendencija lepljenja čelika i veća otpornost na oksidaciju [25].

ISTORIJAT RAZVOJA



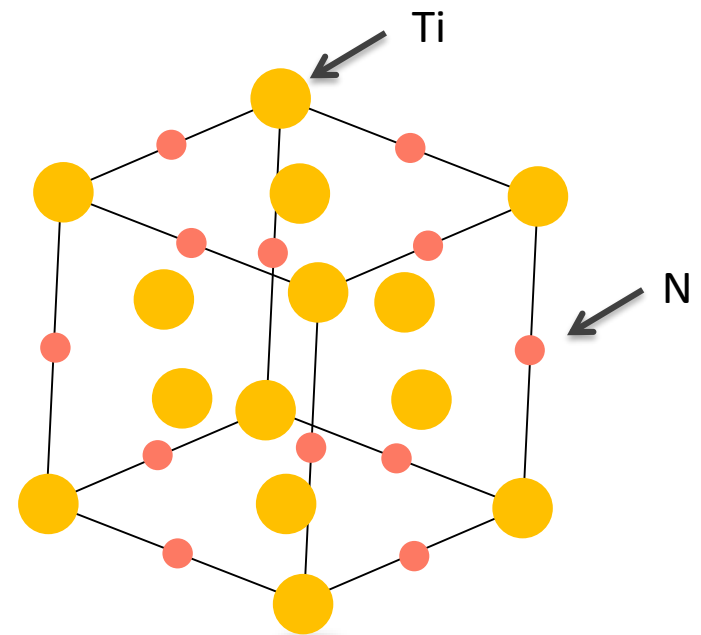
- ◎ Dalji napredak u zaštiti alata postignut je nanošenjem višekomponentnih prevlaka poput TiAlN, TiCN i CrAlN prevlaka.
- ◎ TiCN prevlake napravljene su kako bi se iskoristile prednosti TiC i TiN prevlaka. TiCN prevlake se odlikuju većom tvrdoćom od TiN prevlaka i većom hemijskom inertnošću od TiC prevlaka.

BINARNE TVRDE PREVLAKE - TiN

- ⊙ TiN predstavlja tvrdi keramički material sa PCK strukturom (NaCl).
- ⊙ Prve komercijalne TiN prevlake napravljene su CVD postupkom.
- ⊙ Prva PVD prevlaka (napravljena početkom 80-tih godina).



Institut Jožef Štefan, Odsek za tvrde prevlake i površine.



BINARNE TVRDE PREVLAKE - TiN

📍 Pregled osobina

| | |
|--|------------|
| Tvrdoća (HV) | 2300 |
| Modul elastičnosti (GPa) | 590 |
| Temperatura oksidacije (°C) | 550 |
| Najveća radna temperatura (°C) | 600 |
| Koeficijent trenja – čelik (suvo) | 0.4 |
| Temperatura depozicije (°C) | 450 – 500 |
| Boja | Zlatnožuta |

Oerlikon Balzers, Zaštita orodij s trdima PVD-prevlekama – P. Panjan i M.Čekada i
Doktorska disertacija – A.Miletić

BINARNE TVRDE PREVLAKE - TiN

⊙ Prednosti:

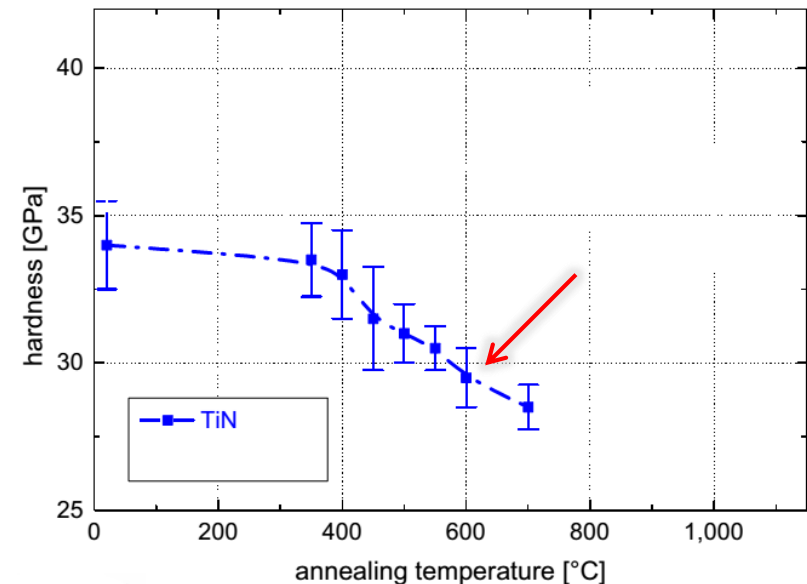
- Relativno visoka tvrdoća (≈ 25 GPa).
- Dobra hemijska inertnost.
- Popularna zlatna boja.

⊙ Nedostaci:

- Oksidaciona postojanost do 550 °C.
- Relativno visok koeficijent trenja u kontaktu sa čelikom (≈ 0.4).
- Radna temperatura do 600 °C.



Institut Jožef Štefan, Odsek za tvrde prevlake i površine.



P.H. Mayrhofer, A. Hörling, L. Karlsson, J. Sjöln, T. Larsson, C. Mitterer, L. Hultman
Applied Physics Letters 83 (2003) 2049

BINARNE TVRDE PREVLAKE - TiN

Primena:

- Alati za obradu rezanjem niskougleničnih čelika.
- Alati za hladno deformisanje i prosecanje materijala manje čvrstoće
- Alati za brizganje plastike (termoplasti).
- Zaštita mašinskih elemenata.
- Zaštita medicinskih instrumenata.



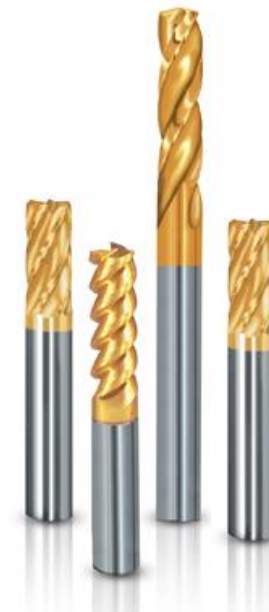
<http://www.richterprecision.com/replikote.html> 2016



<http://www.commerceservice.sk/tin%20eng.html> 2016



http://www.alphadental.com/index.php?main_page=popup_image&pID=14780 2016



<http://sgstool.com/content.aspx?contentId=coatings> 2016



http://www.northstarcoating.com/coating_TiN.aspx 2016

http://hongfengjixie.en.alibaba.com/product/531402595-213388110/Functional_PVD_Titanium_Nitride_Coating_TiN_Machine_Tools_vacuum_deposition_equipment.html

BINARNE TVRDE PREVLAKE - TiN

© Komerčni nazivi

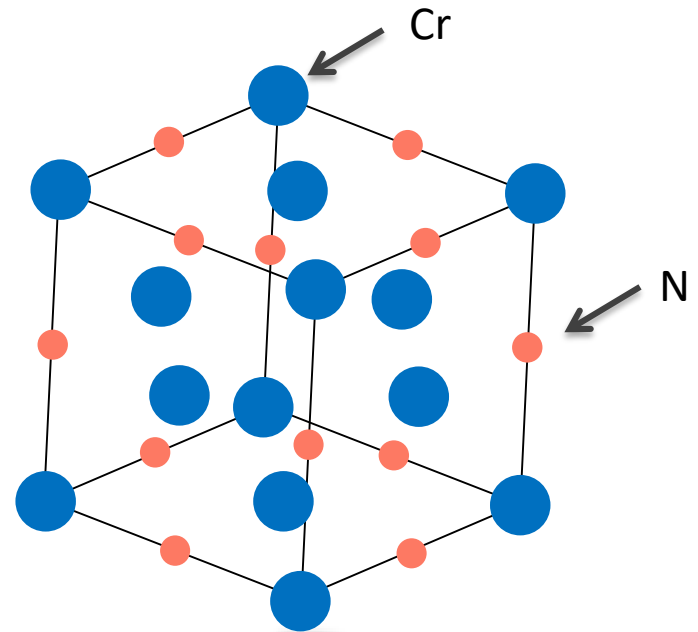
| | |
|-------------------|--------------------------|
| Oerlikon Balzers | Balinit [®] A |
| Ionbond | Ionbond [™] 01 |
| Richter Precision | Titankote [™] C |
| Platit | TiN |
| CemeCon | SUPERTIN [®] |
| Hauzer | TiN |
| Kobelco | BELCOAT G |

BINARNE TVRDE PREVLAKE - CrN

- ⊙ CrN predstavlja tvrdi keramički materijal sa PCK strukturom (NaCl).
- ⊙ Razvijene su kao potencijalna zamena za tvrdo hromiranje.
- ⊙ Zajedno sa TiN i TiC spadaju u prvu generaciju tvrdih prevlaka.



Institut Jožef Štefan, Odsek za tvrde prevlake i površine.



BINARNE TVRDE PREVLAKE - CRN

◎ Pregled osobina

| | |
|--|-------------|
| Tvrdoća (HV) | 1750 |
| Modul elastičnosti (GPa) | 400 |
| Temperatura oksidacije (°C) | 700 |
| Najveća radna temperatura (°C) | 700 |
| Koeficijent trenja – čelik (suvo) | 0.5 |
| Temperatura depozicije (°C) | 200 – 450 |
| Boja | Srebrnosiva |

Oerlikon Balzers, Zaštita orodij s trdima PVD-prevlekama – P. Panjan i M.Čekada i
Doktorska disertacija – A.Miletić

BINARNE TVRDE PREVLAKE - CRN

⊙ Prednosti:

- Visoka otpornost na koroziju.
- Visoka otpornost na oksidaciju.
- Hemijski inertna.
- Neutralna prema prehrambenim proizvodima.
- Niska temperatura depozicije ($> 200\text{ }^{\circ}\text{C}$).
- Niska adhezija pri brziganju plastike – lako otvaranje kalupa.

⊙ Nedostaci:

- Nešto niža tvrdoća ($\approx 18\text{ GPa}$).
- Relativno visok koeficijent trenja u kontaktu sa čelikom (≈ 0.5).



<http://www.aurorascicorp.com/wp-content/uploads/2012/08/crn.jpg>
2016

BINARNE TVRDE PREVLAKE - CRN

Primena:

- Alati za obradu rezanjem bakra, drveta, legura Al sa manjim udelom Si.
- Alati za hladno deformisanje čelika niže čvrstoće i legura bakra.
- Alati za brizganje plastike koja sadrži hemijski agresivne elemente (npr. Cl, F).
- Visoko polirani kalupi, foto nagrizani kalupi.
- Alati za livenje pod pritiskom legura lakih metala.
- Komponente od titanijuma za motore trkačkih automobila i avio industriju.
- Prehrambena industrija.
- Dekorativna namena.

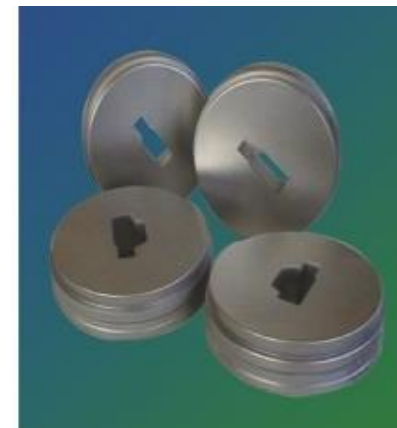
Oerlikon Balzers, IJS – Ljubljana, Platit, Zaščita orodij s trdimi PVD-prevlakami – P. Panjan i M.Čekada, Doktorska disertacija – A.Miletić



<http://www.oerlikon.com/balzers/com/en/portfolio/balzers-surface-solutions/pvd-and-pacvd-based-coatings/balinit/crn-based/balinit-d/> 2016



<http://www.oerlikon.com/balzers/com/en/portfolio/balzers-surface-solutions/pvd-and-pacvd-based-coatings/balinit/crn-based/balinit-d/> 2016



<http://www.platit.com/applications/14-aluminum-extrusion-tool-life-comparison> 2016



<http://www.oerlikon.com/balzers/com/en/portfolio/balzers-surface-solutions/pvd-and-pacvd-based-coatings/balinit/crn-based/balinit-d/> 2016

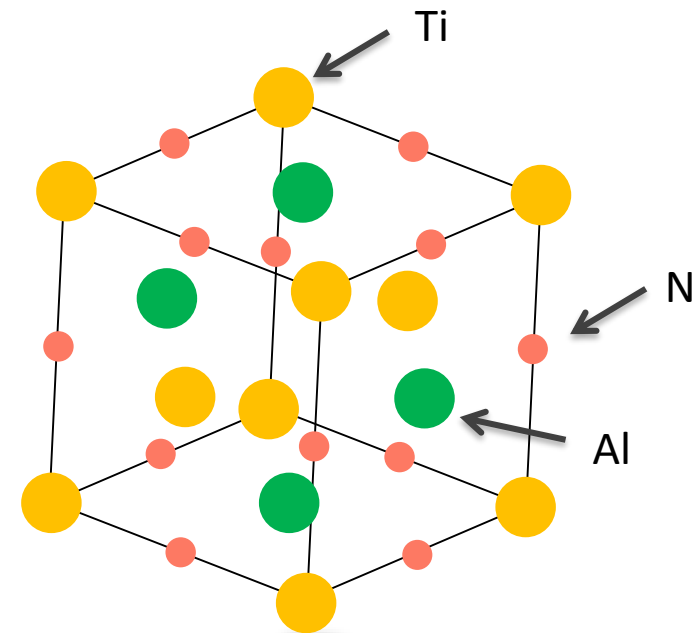
BINARNE TVRDE PREVLAKE - CRN

© Komerčni nazivi

| | |
|-------------------|--------------------------------|
| Oerlikon Balzers | Balinit® D Balinit® Crovega |
| Ionbond | Ionbond™ 30 |
| Richter Precision | - |
| Platit | CrN |
| CemeCon | - |
| Hauzer | CrN |
| Kobelco | BELCOAT SG |

TROKOMPONENTNE PREVLAKE - TiAlN

- ⊙ TiAlN predstavlja tvrdi keramički materijal sa strukturom koja zavisi od udela aluminijuma. Za udele Al u $Ti_{1-x}Al_xN$ $x < 0.6$ stvara se PCK struktura kao na slici.
- ⊙ Najzastupljenije jednoslojne prevlake.
- ⊙ Nastale su sa ciljem da se poveća oksidaciona postojanost TiN prevlaka.
- ⊙ Znatno veće tvrdoće od TiN, veće toplotne i oksidacione postojanosti.

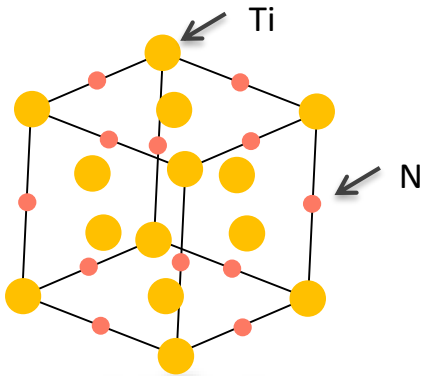


TROKOMPONENTNE PREVLAKE - TiAlN

- Struktura TiAlN prevlaka zavisi od udela aluminijuma.

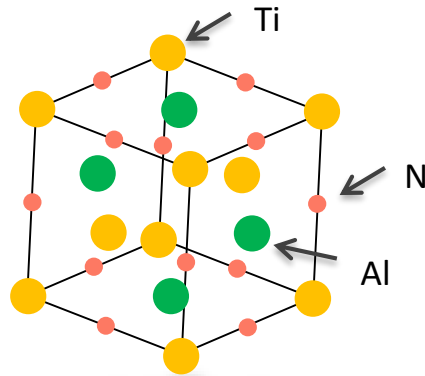


TiN



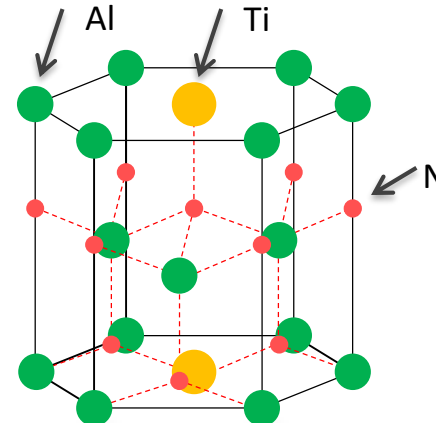
X = 0

TiAlN



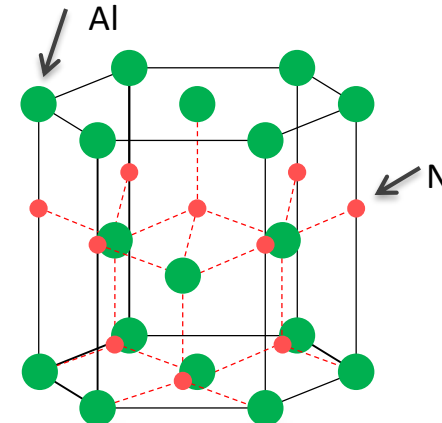
X < 0.6

AlTiN



X > 0.7

AlN



X = 1

Udeo aluminijuma (x u $\text{Ti}_{1-x}\text{Al}_x\text{N}$)



TROKOMPONENTNE PREVLAKE - TiAlN

☉ Pregled osobina

| | |
|--|----------------|
| Tvrdoća (HV) | 3000 - 3500 |
| Modul elastičnosti (GPa) | - |
| Temperatura oksidacije (°C) | 800 |
| Najveća radna temperatura (°C) | 900 |
| Koeficijent trenja – čelik (suvo) | 0.4 |
| Temperatura depozicije (°C) | 450 - 550 |
| Boja | Ljubičastosiva |

Oerlikon Balzers, Zaštita orodij s trdima PVD-prevlekama – P. Panjan i M.Čekada i
Doktorska disertacija – A.Miletić

TROKOMPONENTNE PREVLAKE - TiAlN

⊙ Prednosti:

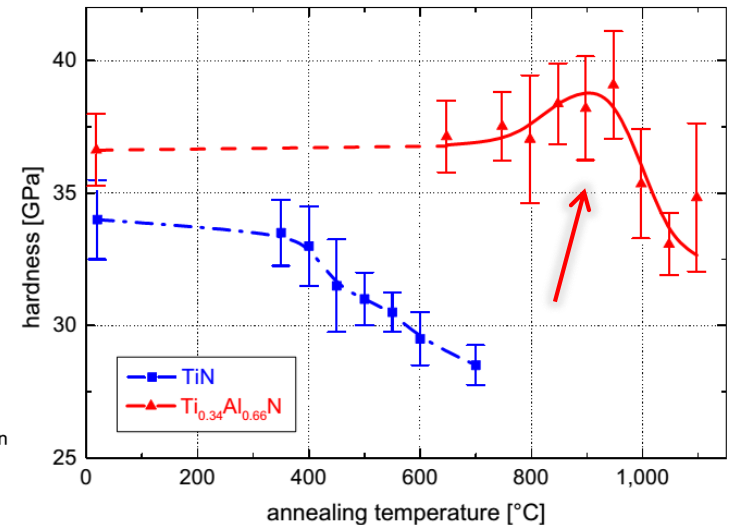
- Visoka tvrdoća (do oko 35 GPa)
- Visoka otpornost na oksidaciju (do oko 800 °C).
- Visoka termalna stabilnost (oko 900 °C).
- Visoka otpornost na habanje.
- Stvaranje stabilnog oksidnog sloja na površini



<http://www.aurorascicorp.com/wp-content/uploads/2012/08/tialn.jpg> 2016

⊙ Nedostaci:

- Relativno visok koeficijent trenja u kontaktu sa čelikom (≈ 0.4).



P.H. Mayrhofer, A. Hörling, L. Karlsson, J. Sjöln, T. Larsson, C. Mitterer, L. Hultman
Applied Physics Letters 83 (2003) 2049

TROKOMPONENTNE PREVLAKE - TiAlN

Primena:

- Alati za obradu rezanjem teško obradivih materijala.
- Obrada tvrdih materijala ($H > 52$ HRC).
- Alati od HSS i tvrdog metala koji su izloženi velikim toplotnim opterećenjima (visokobrzinska obrada, obrada bez upotrebe SHP).
- Alati za obradu deformisanjem čelika srednje čvrstoće.
- Alati za brizganje plastike koja sadrži staklena ojačavajuća vlakna.
- Zaštita komponenti motora sa unutrašnjim sagorevanjem.

Oerlikon Balzers, IJS – Ljubljana, Platit, Doktorska disertacija – A.Miletić



http://www.oerlikon.com/ecomaXL/files/balzers/oerlikon_BALINIT-LUMENA_composing_465px.jpg 2016



http://www.oerlikon.com/ecomaXL/files/balzers/oerlikon_150807_L_ATUMA_465x465.jpg 2016



http://www.oerlikon.com/ecomaXL/files/balzers/oerlikon_mould_plate_34178_lzw.jpg 2016

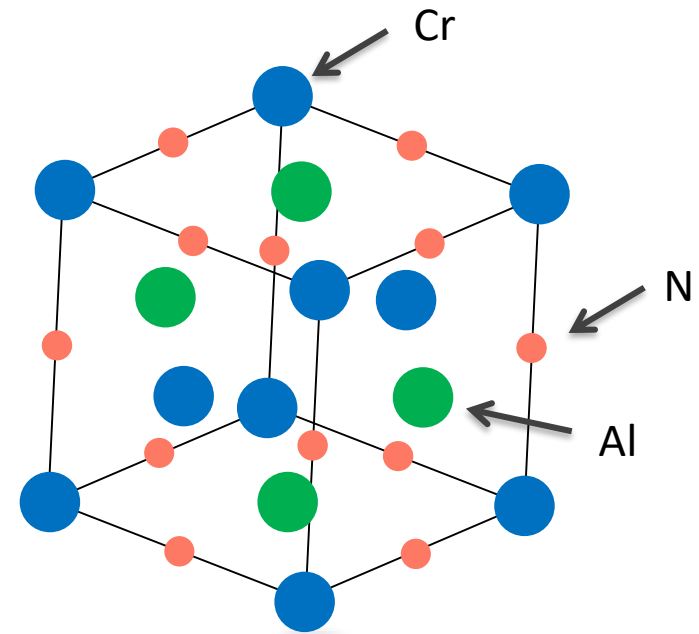
TROKOMPONENTNE PREVLAKE - TiAlN

© Komerčni nazivi

| | |
|-------------------|--|
| Oerlikon Balzers | Balinit® Futura Nano Balinit® Lumena Balinit® Latuma |
| Ionbond | Ionbond™ 16 |
| Richter Precision | Titankote™ C6B |
| Platit | TiAlN |
| CemeCon | ALOX® SN ² |
| Hauzer | TiAlN |
| Kobelco | BELCOAT V |

TROKOMPONENTNE PREVLAKE - CrAlN

- CrAlN predstavlja tvrdi keramički materijal čija struktura zavisi od udela aluminijuma. Za udele aluminijuma u $\text{Cr}_{1-x}\text{Al}_x\text{N}$ $x < 0.6$ stvara se PCK struktura kao na slici.
- Pored rastvarajućeg ojačavanja, dodatak aluminijuma dovodi do rafinacije strukture, pa se CrAlN prevlake odlikuju tvrdoćom većom od CrN prevlaka.
- CrAlN prevlake odlikuje visoka otpornost na koroziju koja je veća u poređenju sa TiAlN prevlakama.



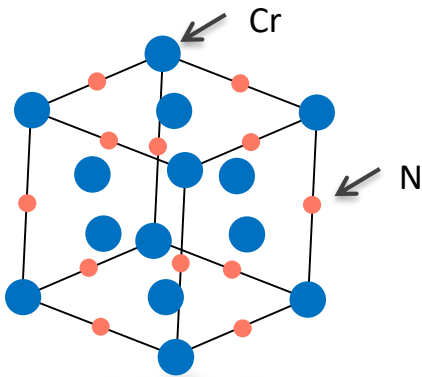
http://www.oerlikon.com/ecomaXL/files/balzers/oerlikon_BALINIT-ALCRONA-PRO_composing_465x465.jpg 2016

TROKOMPONENTNE PREVLAKE - CrAlN

- Struktura $\text{Cr}_{1-x}\text{Al}_x\text{N}$ prevlaka zavisi od udela aluminijuma.

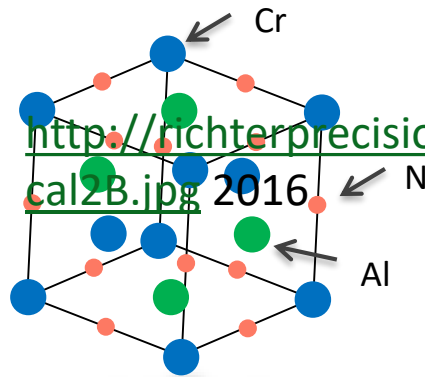


CrN



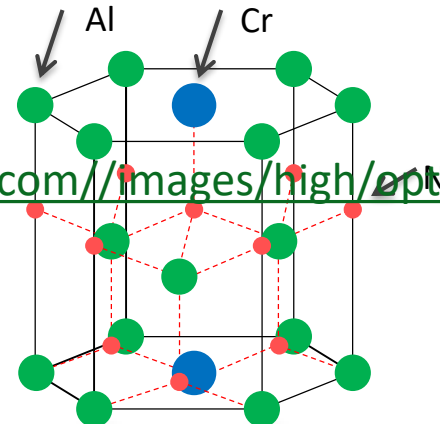
X = 0

CrAlN



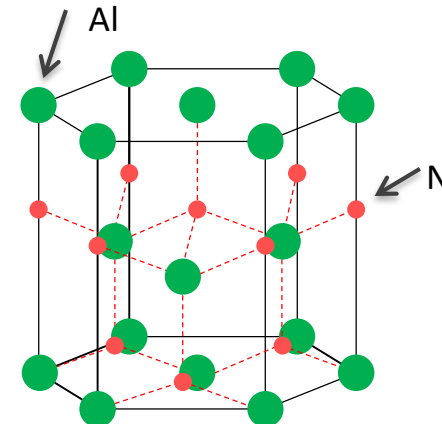
X < 0.6

AlCrN



X > 0.7

AlN



X = 1

Udeo aluminijuma (x u $\text{Ti}_{1-x}\text{Al}_x\text{N}$)



TROKOMPONENTNE PREVLAKE - CRALN

◎ Pregled osobina

| | |
|--|----------------------------|
| Tvrdoća (HV) | 3300 |
| Modul elastičnosti (GPa) | - |
| Temperatura oksidacije (°C) | 700 |
| Najveća radna temperatura (°C) | 900 - 1100 |
| Koeficijent trenja – čelik (suvo) | 0.35 – 0.55 |
| Temperatura depozicije (°C) | 450 - 550 |
| Boja | Svetlo siva, plavo siva |

Oerlikon Balzers, Zaštita orodij s trdima PVD-prevlekama – P. Panjan i M.Čekada i
Doktorska disertacija – A.Miletić, Platit. Ionbond.

TROKOMPONENTNE PREVLAKE - CrAlN

◎ Prednosti:

- Visoka tvrdoća (oko 33 GPa) – znatno veća od CrN.
- Visoka otpornost na oksidaciju (veća od CrN i TiAlN).
- Visoka termalna stabilnost (oko 900 °C).
- Visoka otpornost na habanje.
- Nizak koeficijent trenja u kontaktu sa čelikom (0.35).



Oerlikon Balzers Magazine, April 2011, Ed. 01

TROKOMPONENTNE PREVLAKE - CrAlN

Primena:

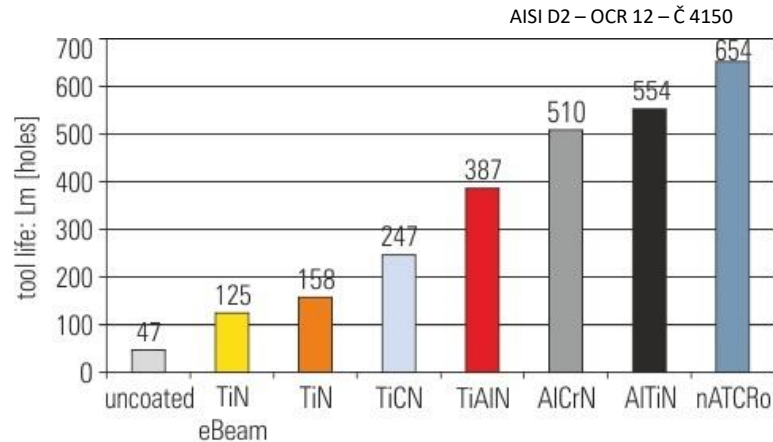
- Alati za obradu glodanjem čelika tvrdoće < 53 HRC.
- Alati za obradu glodanjem livenog gvožđa, legura nikla za avio industriju i legura titanijuma.
- Obrada rezanjem bez upotrebe SHP sredstava.
- Alati za obradu deformisanjem, probijanjem i prosecanjem.
- Alati za livenje legura aluminijuma pod pritiskom.
- Alati za kovanje na toplo.
- Alati za brizganje plastike.

Oerlikon Balzers, Zaščita orodij s trdimi PVD-prevlekami – P. Panjan i M.Čekada

Fine blanking of safety parts



http://www.oerlikon.com/ecomaXL/files/balzers/oerlikon_BALINI_T-B_punch-die_465px.jpg 2016



Mat.: Tool steel - X155CrVMo12-1 - 1.2379 - HB290 - ap=18mm - blind holes
Tools: HSS-drills - Type N - DIN 338 - d=6mm - vc=22 m/min - f=0.1 mm/rev - emulsion 7%

Extrusion of screw heads



http://www.oerlikon.com/ecomaXL/files/balzers/oerlikon_BALINIT-B_extrusion-punch_465px.jpg 2016



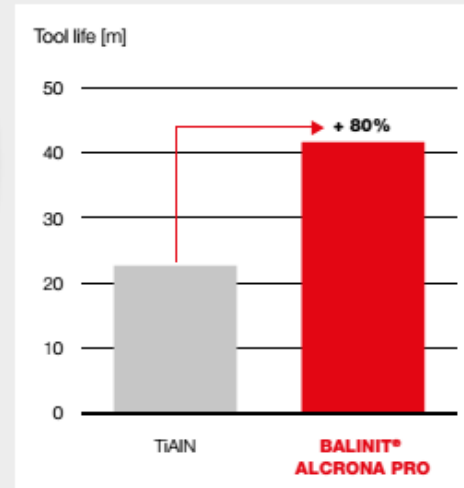
http://www.platit.com/sites/default/files/styles/large/public/100_drilling-tool_life_comparison_of_hss_drills.jpg?itok=yg4SQJDP 2016

TROKOMPONENTNE PREVLAKE - CRALN

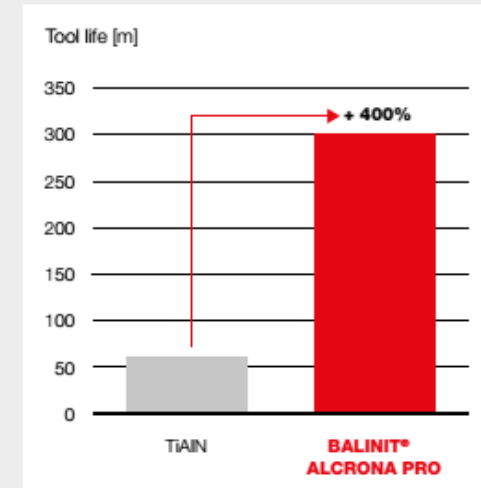
Primena



Rough milling, wet



Wet machining of carbon steel



Tool

Carbide end mill
Ø 10 mm

Workpiece

Steel 1.2344 (AISI H13, SKD 61) Č 4753

Cutting data

$v_c = 175$ m/min
 $f_t = 0.05$ mm
 $a_e = 4$ mm, $a_p = 8$ mm

6% Emulsion

Source

Oerlikon Balzers cutting laboratory

Carbide end mill
Ø 8 mm, Z = 3

Steel 1.1191 (AISI 1045, S45C) Č 1531

$v_c = 400$ m/min
 $f_t = 0.1$ mm
 $a_e = 0.5$ mm, $a_p = 10$ mm
 $VB_{max} = 0.12$ mm
6% Emulsion

Oerlikon Balzers cutting laboratory

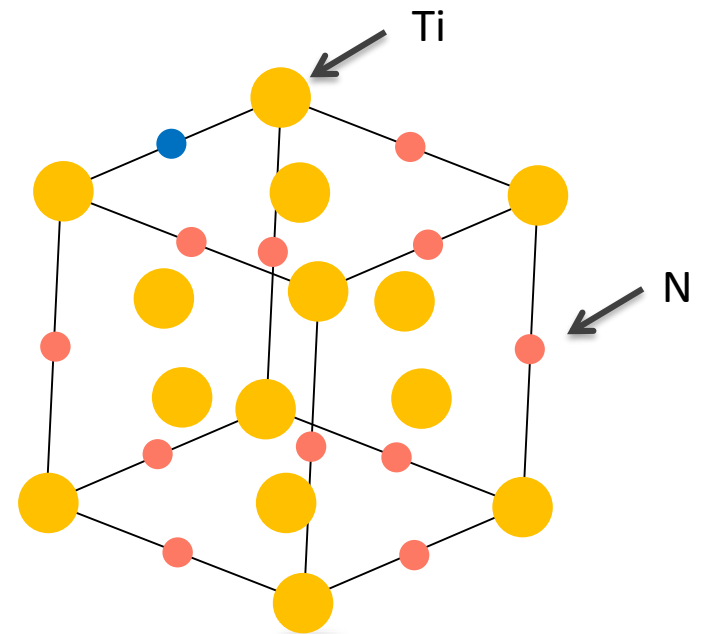
TROKOMPONENTNE PREVLAKE - CrAlN

© Komerčajni nazivi

| | |
|-------------------|--|
| Oerlikon Balzers | Balinit® Alcrona Balinit® Alcrona Pro |
| Ionbond | Ionbond™ 25 |
| Richter Precision | - |
| Platit | AlCrN |
| CemeCon | - |
| Hauzer | AlCrN |
| Kobelco | - |

TROKOMPONENTNE PREVLAKE - TiCN

- ⊙ TiCN predstavlja tvrdi keramički materijal sa PCK strukturom. TiC i TiN imaju istu PCK kristalnu strukturu i potpuno se međusobno mešaju. Deo atoma azota zamenjen je većim atomima ugljenika.
- ⊙ TiCN prevlake napravljene su kako bi se iskoristile prednosti TiC i TiN prevlaka.



<http://richterprecision.com//images/high/pvd3B.jpg> 2016

TROKOMPONENTNE PREVLAKE - TiCN

☉ Pregled osobina

| | |
|--|-------------------------|
| Tvrdoća (HV) | 3000 |
| Modul elastičnosti (GPa) | - |
| Temperatura oksidacije (°C) | - |
| Najveća radna temperatura (°C) | 400 - 600 |
| Koeficijent trenja – čelik (suvo) | 0.15 - 0.4 |
| Temperatura depozicije (°C) | 450 - 500 |
| Boja | Plavosiva, bakarna * |

Oerlikon Balzers, Zaštita orodij s trdima PVD-prevlekama – P. Panjan i M.Čekada i
Doktorska disertacija – A.Miletić, Hauzer, Eifeler, Ionbond

* Zavisi od udela ugljenika.

TROKOMPONENTNE PREVLAKE - TiCN

⊙ Prednosti:

- Visoka tvrdoća (oko 30 GPa) – veća od TiN.
- Manji koeficijent trenja u poređenju sa TiN.
- Veća hemijska inertnost u poređenju sa TiC.

⊙ Nedostaci:

- Niska oksidaciona postojanost.
- Niske radne temperature.



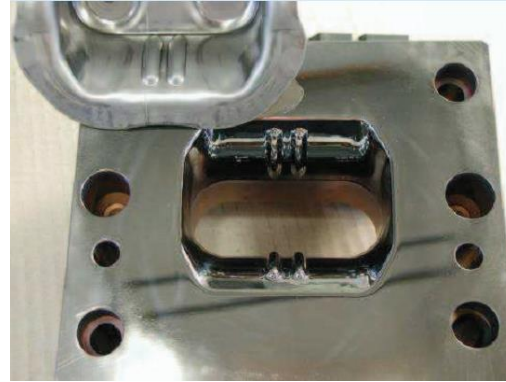
http://www.oerlikon.com/ecomaXL/files/balzers/oerlikon_BALINIT-B_Cutting_tap.jpg 2016

TROKOMPONENTNE PREVLAKE - TiCN

Primena:

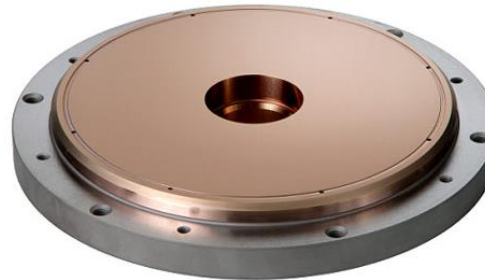
- Alati za obradu legiranog čelika, nerđajućeg čelika, prekidna obrada sa velikim brzinama rezanja ^{1, 4}.
- Alati za obradu rezanjem neželjeznih metala (aluminijum sa većim udelom Si ^{4,5}) i veoma žilavih materijala ^{1,5}.
- Zbog male toplotne postojanosti nije pogodna za neprekidnu obradu sa velikim brzinama rezanja, obradu bez upotrebe SHP, kao i obradu legura titanijuma i legura nikla, jer se pri obradi tih legura rezna ivica veoma zagreva ¹.
- Zbog velike tvrdoće pogodna je za zaštitu žigova za oblikovanje veoma žilavih materijala ¹. Oblikovanje sa većim opterećenjima ². Oblikovanje feritnih, austenitnih i nerđajućih čelika ². Alati za prosecanje i probijanje ³.
- Alati za brizganje plastike koja sadrži staklena ojačavajuća vlakna ³.

Alat i obradak



Eifeler, TiCN.pdf, 2016

Optical Disc Mirror



<http://richterprecision.com//images/high/optical2B.jpg> 2016



<http://www.shm-cz.cz/pvd-coatings-and-services/pvd-coatings/ticn/> 2016



<http://www.oerlikon.com/balzers.com/en/portfolio/balzers-surface-solutions/pvd-and-pacvd-based-coatings/balinit/tin-based/balinit-b/> 2016

1. Zaštita orodij s trdimi PVD-prevlekami – P. Panjan i M.Čekada , 2. Oerlikon Balzers, 3. Ionbond, 4. Platit, 5. Richter precision

TROKOMPONENTNE PREVLAKE - TiCN

☉ Komercijalni nazivi

| | |
|-------------------|-----------------|
| Oerlikon Balzers | Balinit® B* |
| Ionbond | Ionbond™ 10 |
| Richter Precision | Titankote™ C5** |
| Platit | TiCN |
| CemeCon | - |
| Hauzer | TiCN |
| Kobelco | BELCOAT R |

* Na pojedinim tržištima Oerlikon Balzers nudi Balinit B prevlaku kao jednoslojnu TiCN, dok na pojedinim tržištima nudi višeslojnu prevlaku na bazi TiCN.

** Nude samo u višeslojnoj izvedbi TiCN/TiN.



HVALA NA PAŽNJI !