



UNIVERZITET U NOVOM SADU

FAKULTET TEHNIČKIH NAUKA



KUBNI BORNITRID C-BN

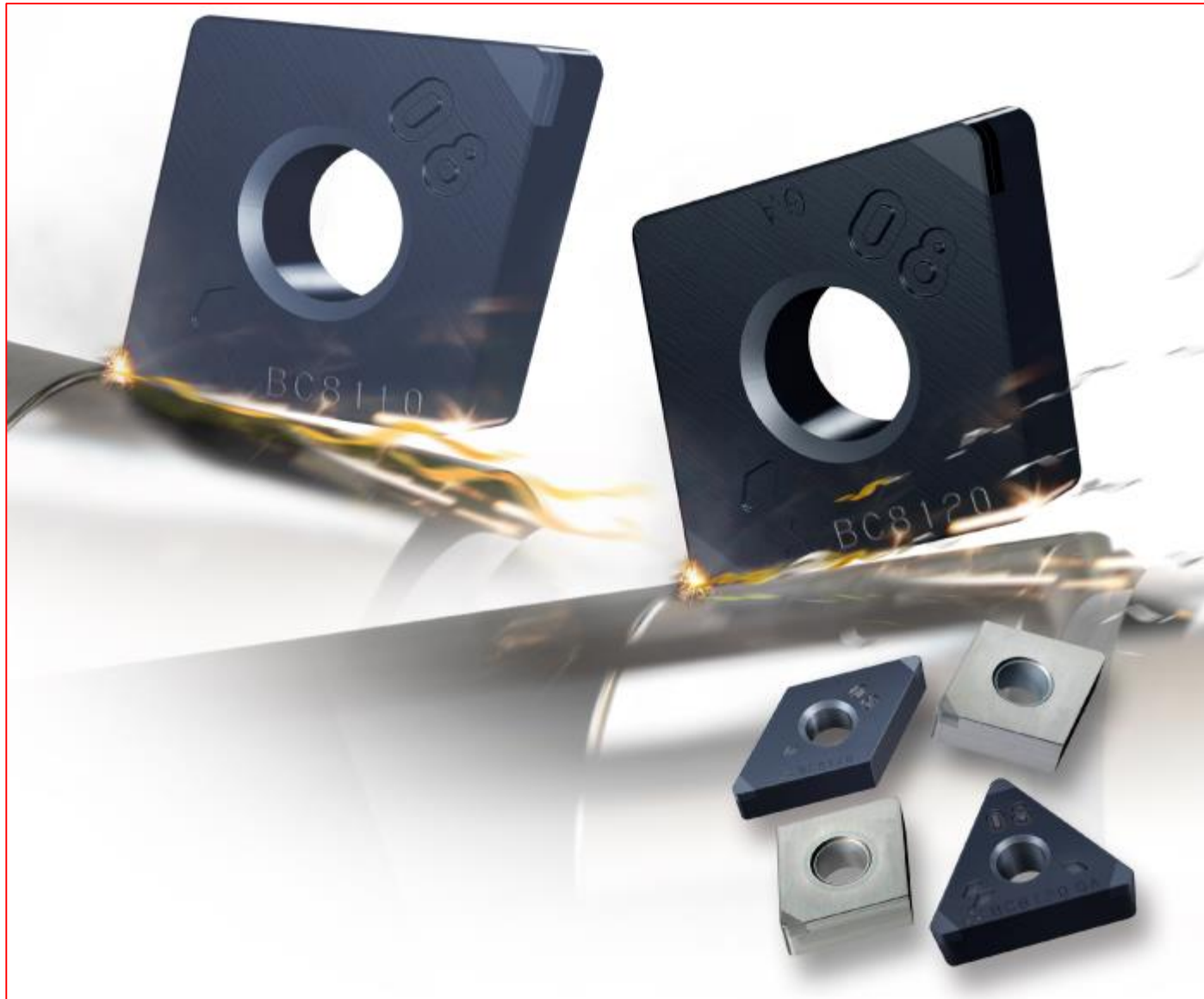
Doc. dr Pal Terek

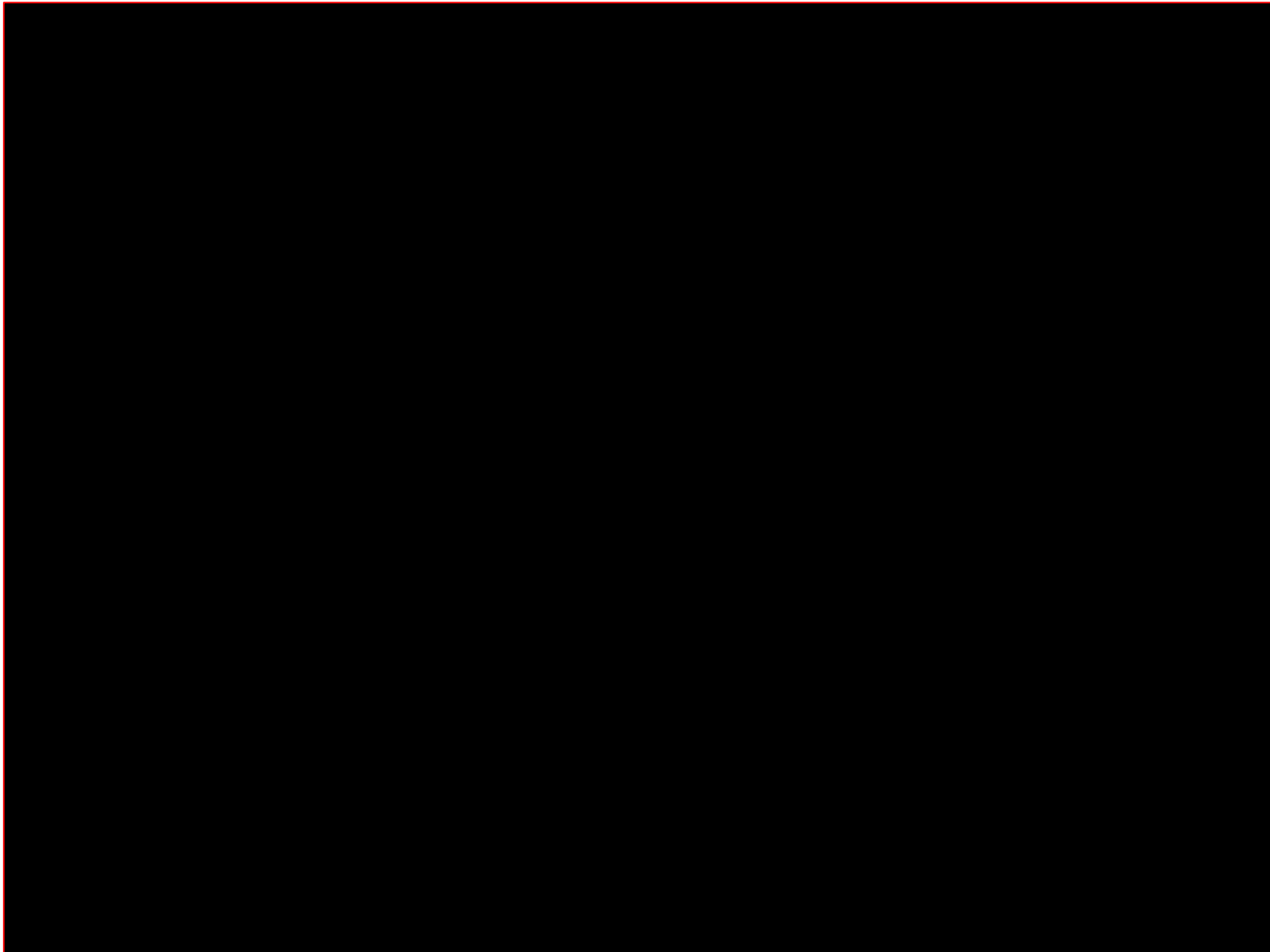
Doc. dr Aleksandar Miletić

Potrebe i razvoj novih prevlaka

- Čak i najbolji inženjerski materijali ne mogu sve da primene da zadovolje
- Razvoj materijala u inženjerstvu je kompromis između prednosti i nedostataka materijala, često je više osobina u sukobu
- Ostvarenje optimuma osobina materijala za određenu primenu je veoma trnovit put

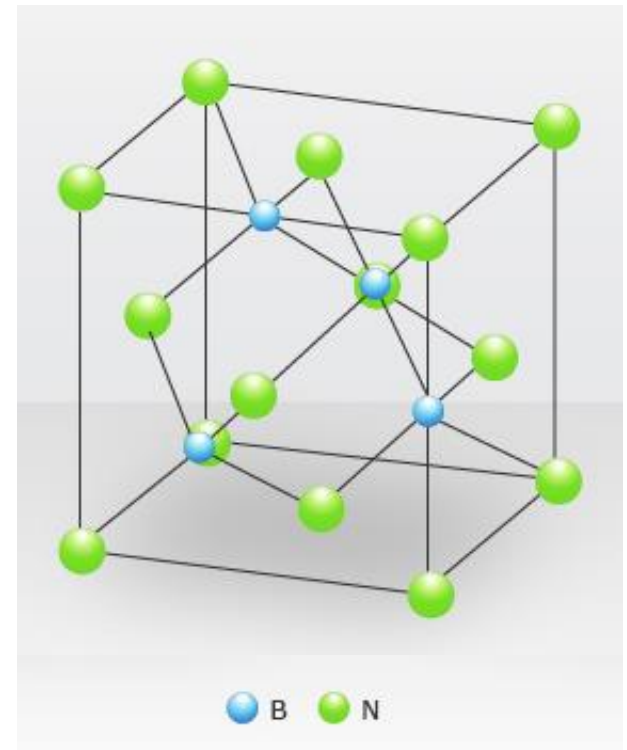
Kontinualno struganje





Šta je c-BN?

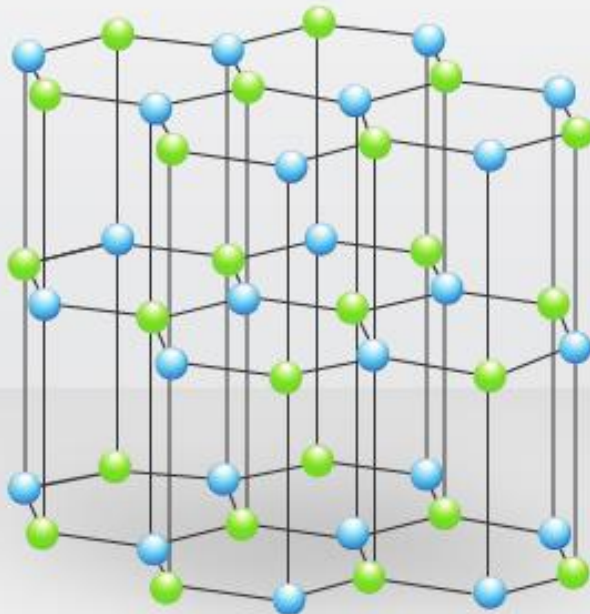
- U želji da se razvije materijal koji je probližan dijamantu i prevazilazi njegove nedostatke razvijen je c-BN
- Sastoji se od bora i azota
- Struktura c-BN slična strukturi dijamanta



Kristalna struktura BN prevlaka

- Heksagonalni bor nitrid (h-BN) – sp^2 veze
- Kubni bor nitrid (c-BN) – sp^3 veze
- Turbostratični bor nitrid (t-BN) – sličen h-BN-u ali manja uređenost – sp^2 veze
- Amorfni bor nitrid (a-BN)

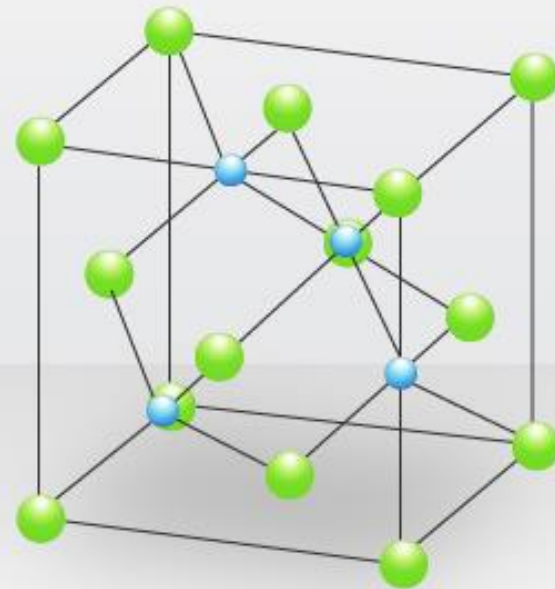
Sličan grafitu



HEKSAGONALNI BN



Sličan dijamantu



KUBNI BN

Osnovne osobine c-BN

- Visoka tvrdoća od **50 do 70 GPa**
- Izuzetno hemijski i termički stabilan
- Oksidaciono postojan
- Visoka toplotna provodljivost
- Ne reaguje sa površinom čelika ni pri **1000 °C**
- **Teško se proizvodi**, teže od dijamanta, pa je stoga skup



Osnovne osobine c-BN

UPOREDNI PRIKAZ OSOBINA C-BN I DIJAMANTA

Osobina	Dijamant	c-BN
Struktura	CubFd3m	CubF43m
Parametar rešetke (Å)	3.567	3.615
Međuatomsko rastojanje (Å)	1.54	1.57
Gustina (g/cm ³)	3.51	3.48
Tvrdoća (GPa)	100	60 - 75
Modul elastičnosti (GPa)	1140	850
Koef. Provođenja toplote (W/cmK)	20	13
Oksidaciona postojanost (°C)	600	1200
Grafitizacija (°C)	1400	> 1550

Dobijanje c-BN

- Zapreminski c-BN
 - Dobija se pri visokim temperaturama i pritiscima
 - Veoma skup, ali dobro zastupljen postupak
 - Dobija se c-BN prah – povezivanjem se oblikuju razni alati
- Tanke c-BN prevlake
 - PVD reaktivno raspršivanje
 - PVD – jonski podržano nanošenje
 - PACVD – CVD sa plazmom

Dobijanje c-BN

- c-BN prevlaka se teško proizvodi
- Potrebno je intenzivno bombardovanje – u suprotnom nastaje h-BN
- Ali pri intenzivnom bombardovanju dolazi do porasta unutrašnjih napona u prevlaci
- Za stvaranje kubne faze ključan veći broj faktora, neki su:
 - Energija jona (E_{ion}) – veća od 100 eV
 - Odnos broja jona i broja atoma bora i azota (Φ_{ion}/Φ_{BN})
 - Masa atoma gasova u komori (a)
 - Odnos ukupnog pritiska i mase gasova u komori (P_{tot}/a)
 - Temperatura podloge – veća od 150 °C

Dobijanje c-BN

U TOKU BOMBARDOVANJA MOGU SE ODVIJATI SLEDEĆI PROCESI

- **Implantacija**

implantacija u površinskom regionu dovodi do povećanja gustine materijala i stvaranja napona.

- **Relaksacija usled povećane pokretljivosti**

joni koji dolaze na površinu uzorka mogu direktno povećati pokretljivost nanešenih atoma.

- **Relaksacija usled povećane temperature**

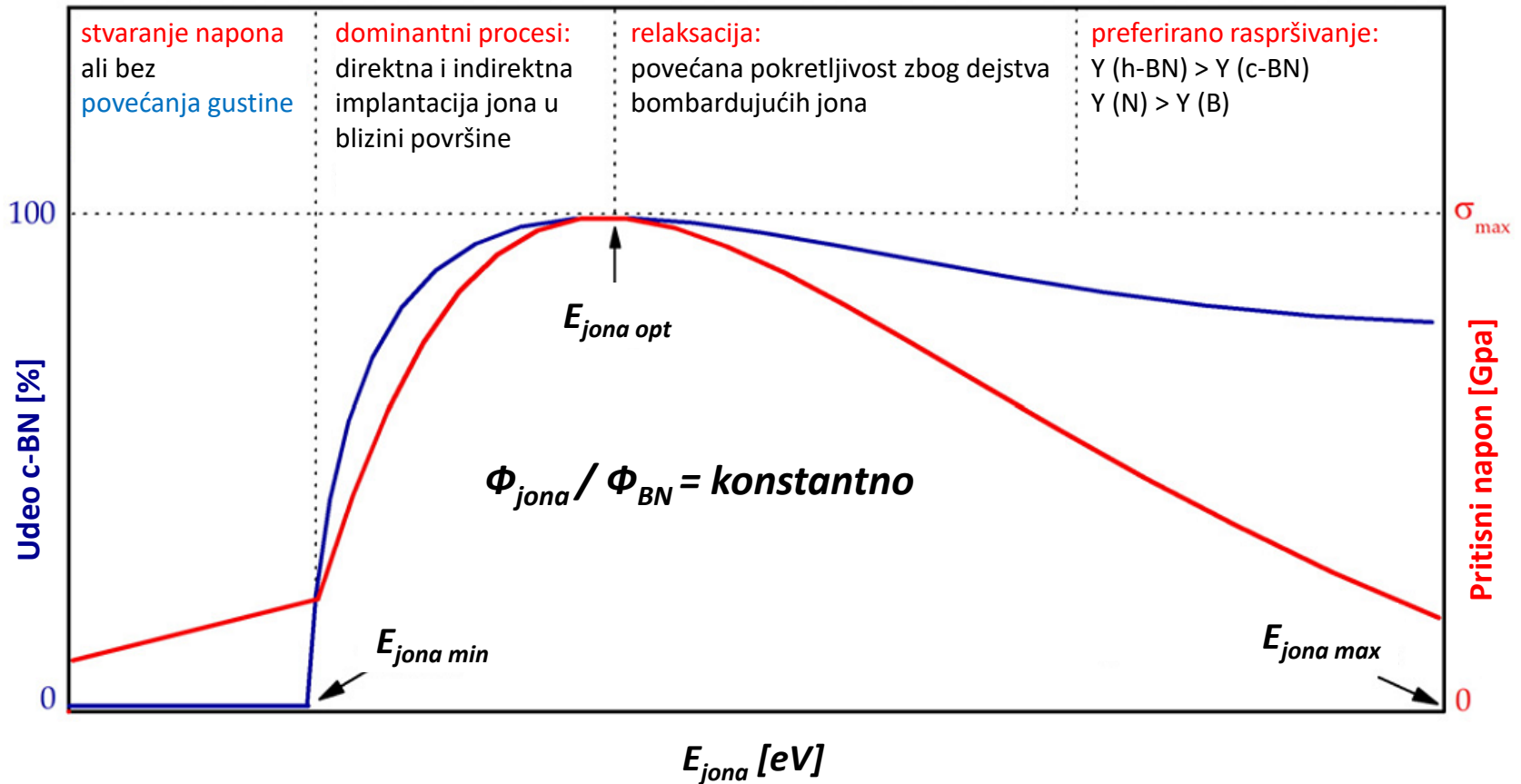
konstantnim bombardovanjem energija se neprestano dovodi na površinu što može dovesti do povećanja temperature i relaksacije

- **Uklanjanje raspršivanjem**

pri velikim energijama bombardujućih jona može doći do raspršivanja deponovanog materijala. Raspršivanje heksagonalne faze je izraženije što dovodi do povećanja udela kubne faze. Takođe, moguće je preferirano raspršivanje azota u poređenju sa borom, što može dovesti do manjka azota u prevlaci.

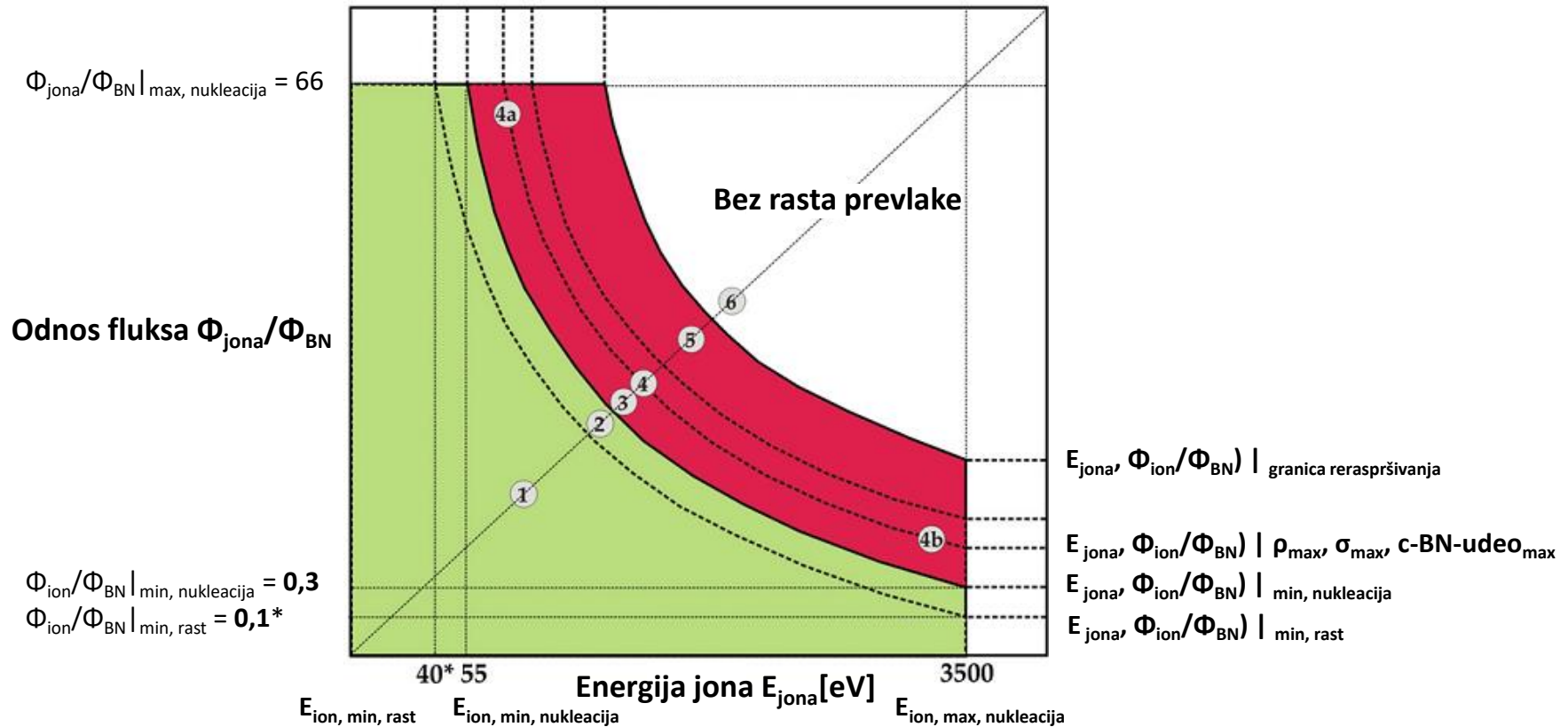
Dobijanje c-BN

UTICAJ ENERGIJE JONA NA PROCESE KOJI SE ODVIJAJU



Dobijanje c-BN

USLOVI ZA DOBIJANJE c-BN

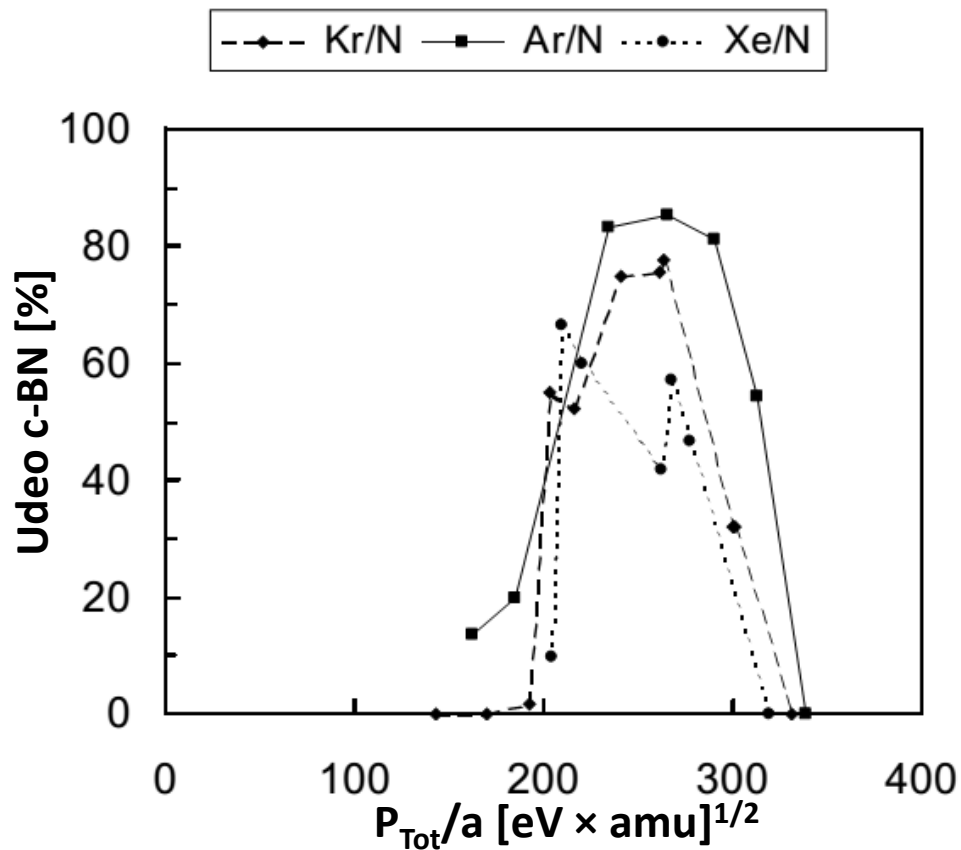


- ① Nukleacija i rast h-BN kod koga su bazalne ravni paralelne površini podloge, niski naponi u prevlaci
- ② Nukleacija i rast h-BN kod koga su bazalne ravni upravne na površinu podloge, visoki naponi u prevlaci
- ③ Nukleacija i rast c-BN, veoma visoki naponi u prevlaci
- ④ Najveća gustina, najveći naponi, najveći udeo c-BN
- ⑤ Bolji odnos gustine i napona | moguće nagomilavanje B usled preferiranog raspršivanja N, mala brzina rasta kod granice reraspršivanja
- ⑥ Bez rasta prevlake

Dobijanje c-BN

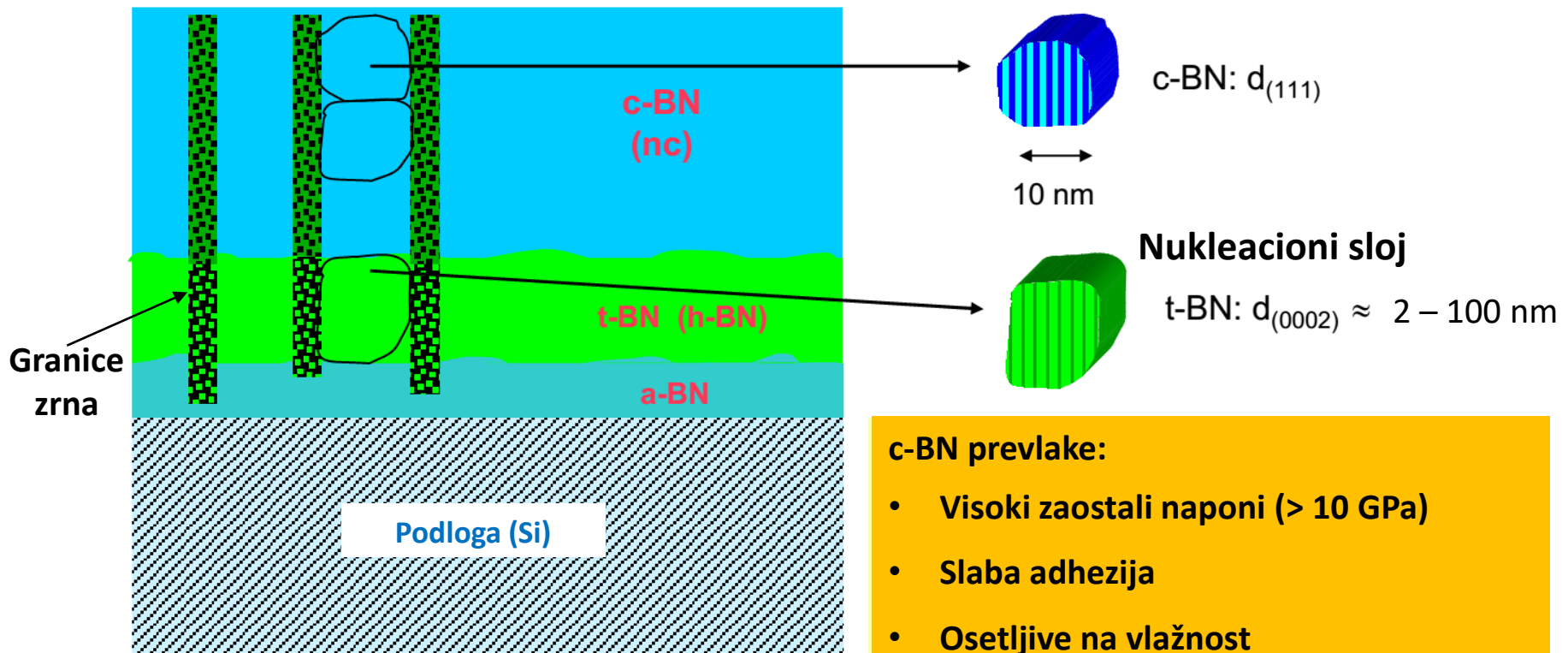
UTICAJ

- Masa atoma gasova u komori (a)
- Odnos ukupnog pritiska i mase gasova u komori (P_{tot}/a)



Model rasta c-BN

- c-BN ne može da započne nukleaciju direktno na većini podloga
- Moraju da se obezbede određeni uslovi



Problematika napona

MERE SMANJENJA NAPONA

- **optimizacija** parametara depozicije
- depozicija na **višim temperaturama**
- **termička obrada** nakon depozicije
- **bombardovanje** jonima energije reda veličine 100 keV
- postepena varijacija energije bombardovanja, kao i sastava prevlake u početnim fazama depozicije
- **ublažavanje režima** rada nakon nukleacije c-BN
- stvaranje **nanokomozitne prevlake** poput c-BN/a-C
- **dodavanje trećeg elementa** koji može dovesti do povećanja gustine i relaksacije

Problematika adhezije

MERE POVEĆANJA

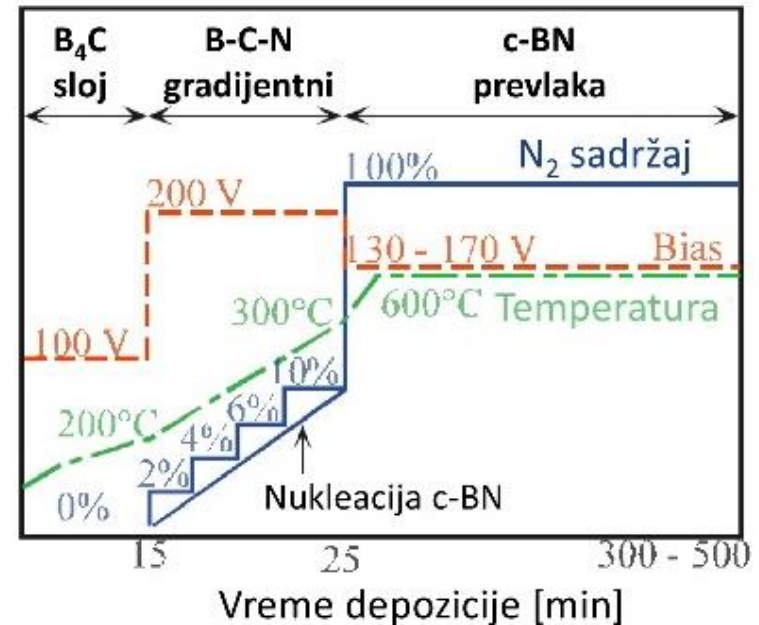
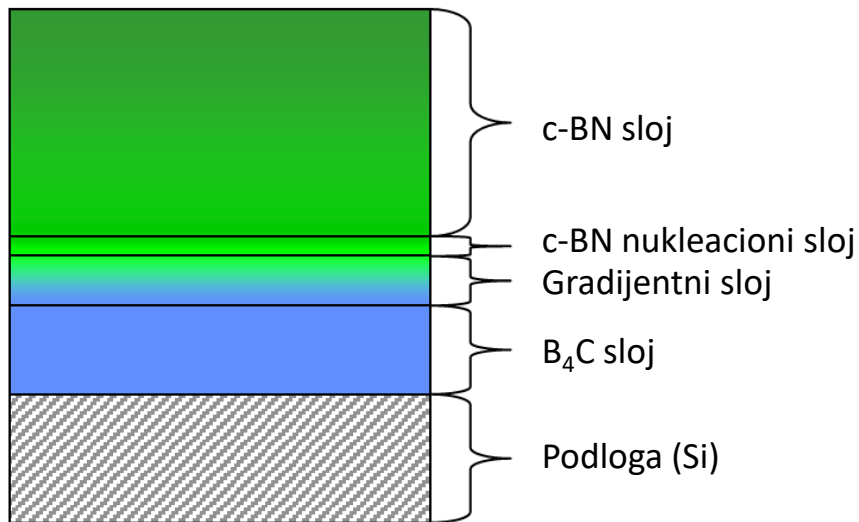
- izbegavanje stvaranja h-BN nukleacijskog sloja
- hrapave površine/granične površine
- nanošenje slojeva drugih materijala



Problematika napona i adhezije

UMETANJE SLOJEVA

Gradijentni sistem:



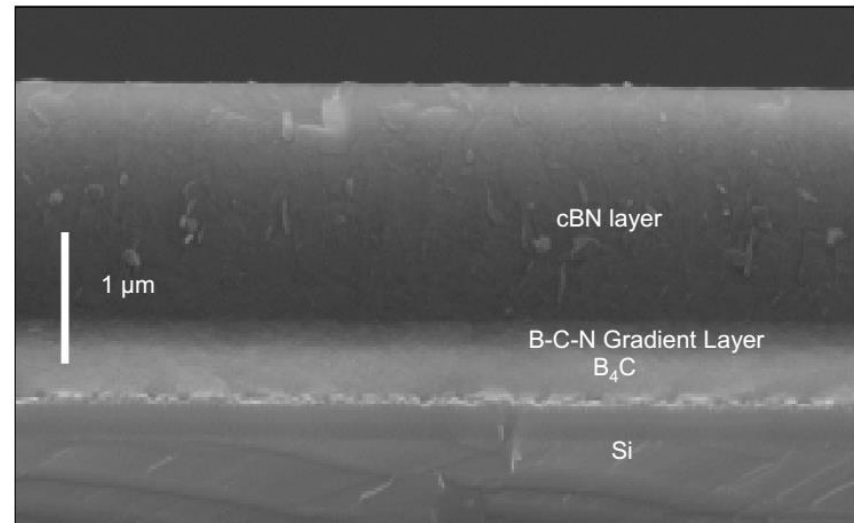
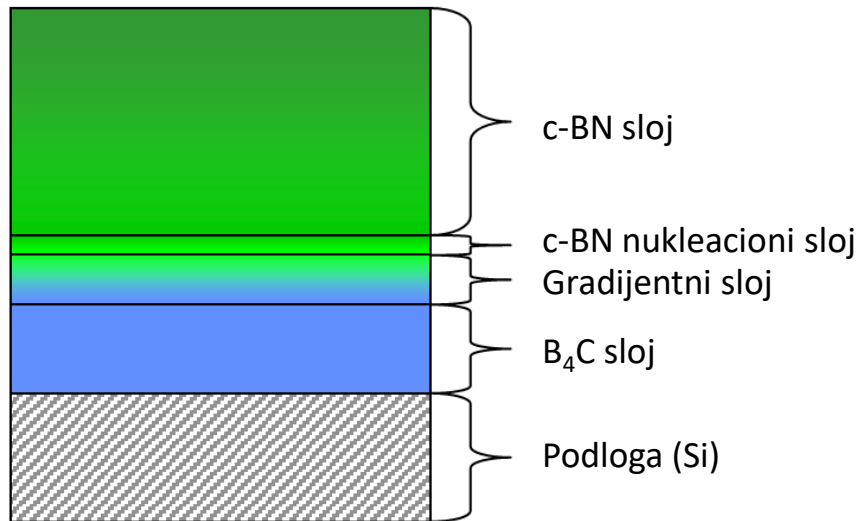
Nanošenje:

1. B₄C sloj, 0.1 – 1 μm
2. B-C-N gradijentni sloj, ≈ 0.2 μm (inkrementalna promena Ar → N₂)
3. c-BN nukleacioni i c-BN sloj, ≥ 2 μm

Problematika napona i adhezije

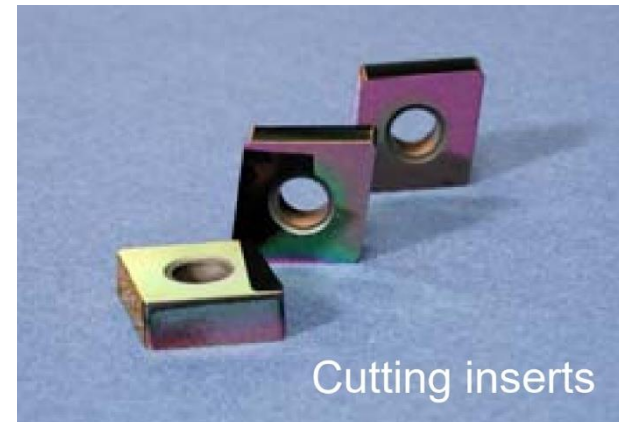
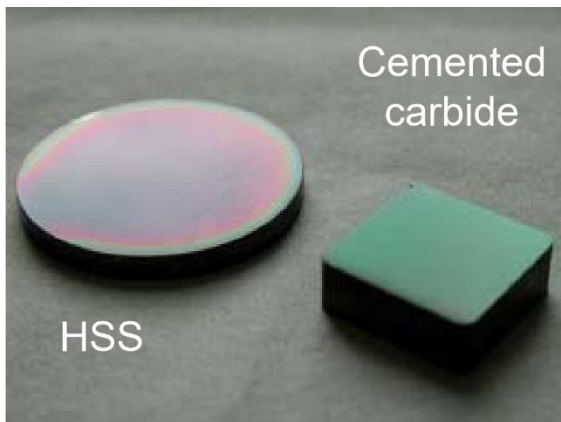
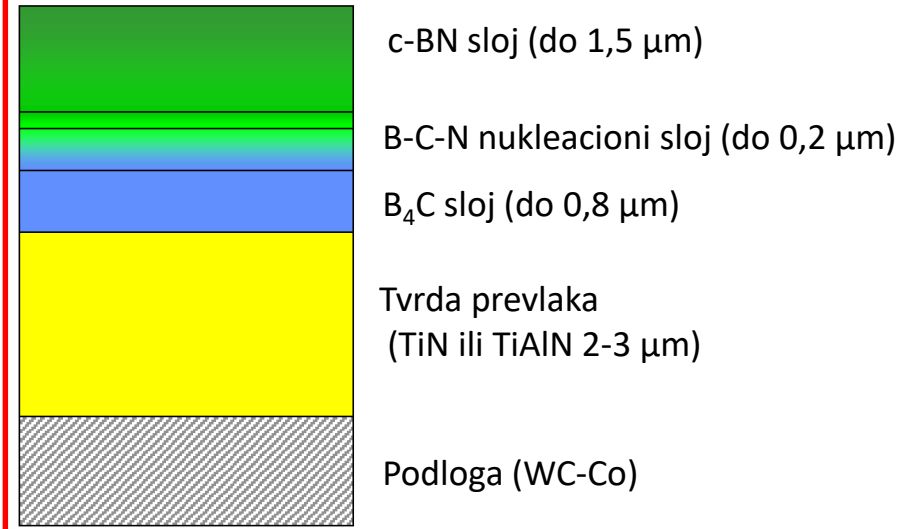
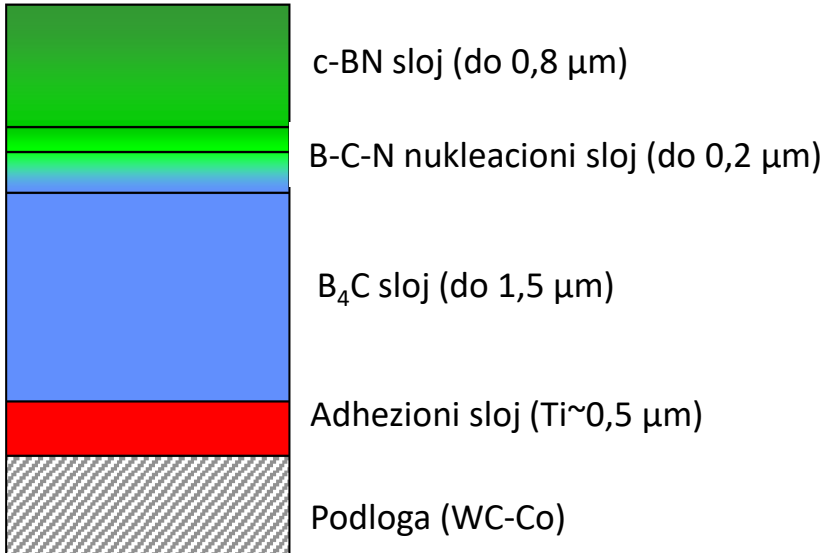
UMETANJE SLOJEVA

Gradijentni sistem:



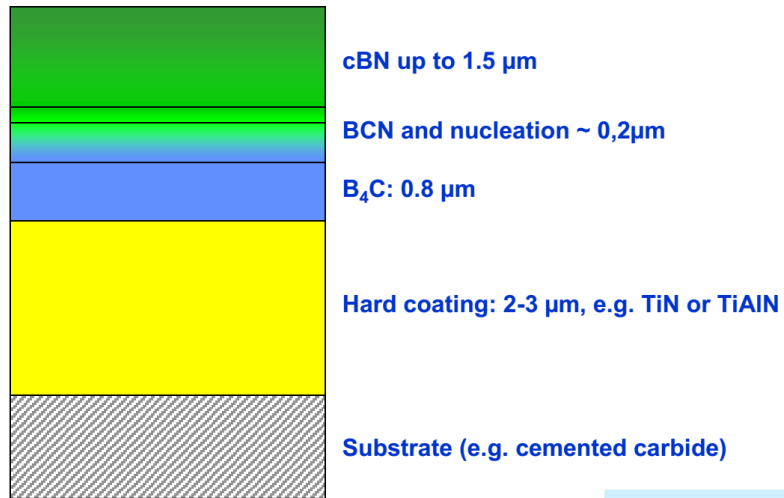
Problematika napona i adhezije

UMETANJE SLOJEVA

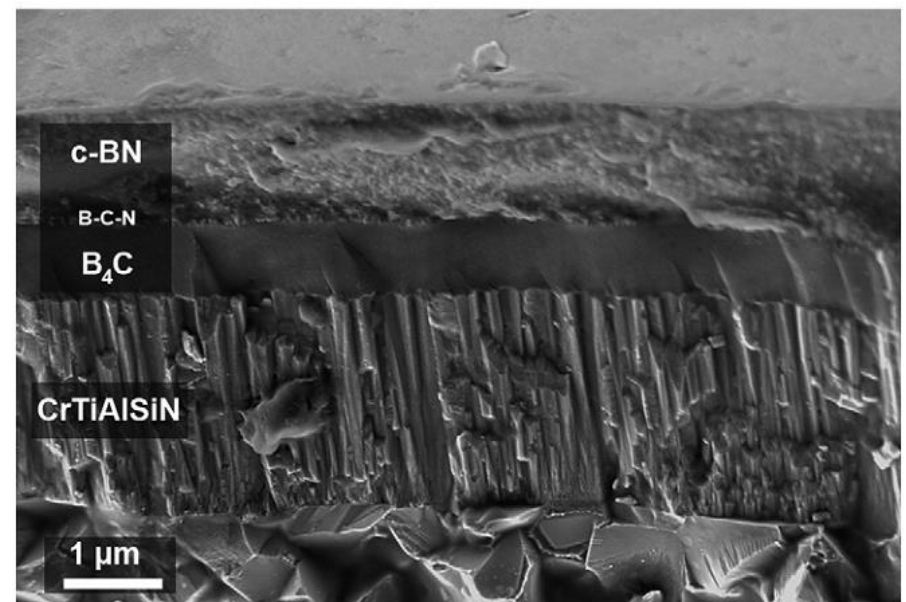
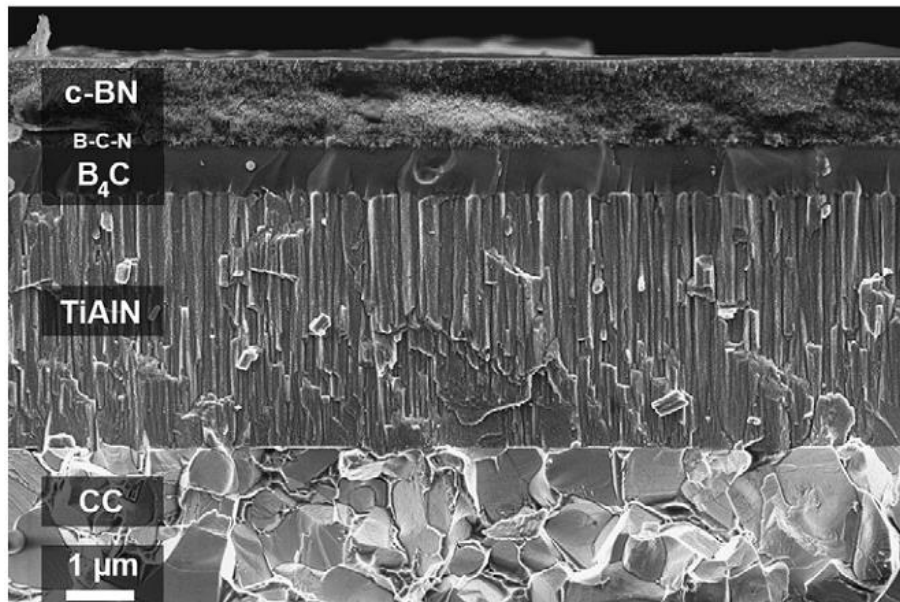


Problematika napona i adhezije

UMETANJE SLOJEVA

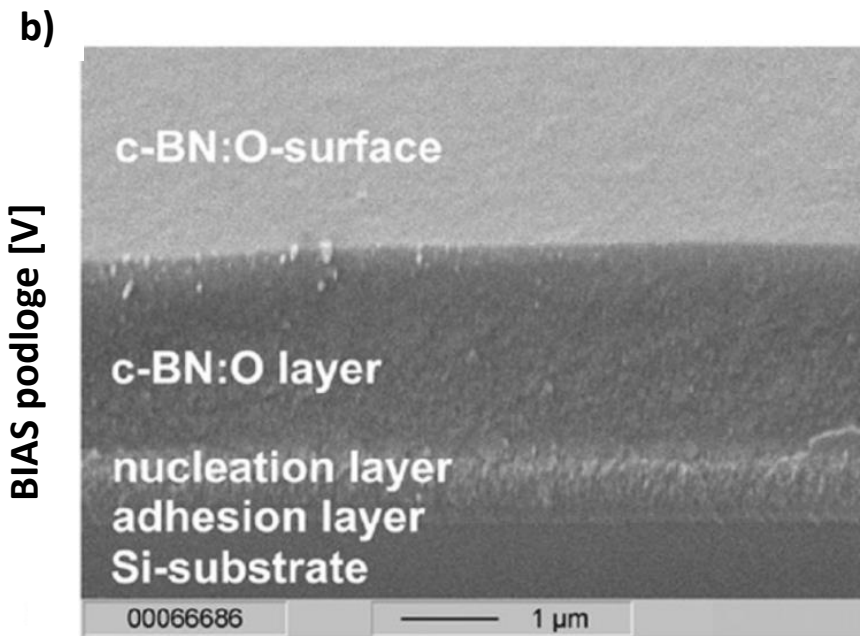
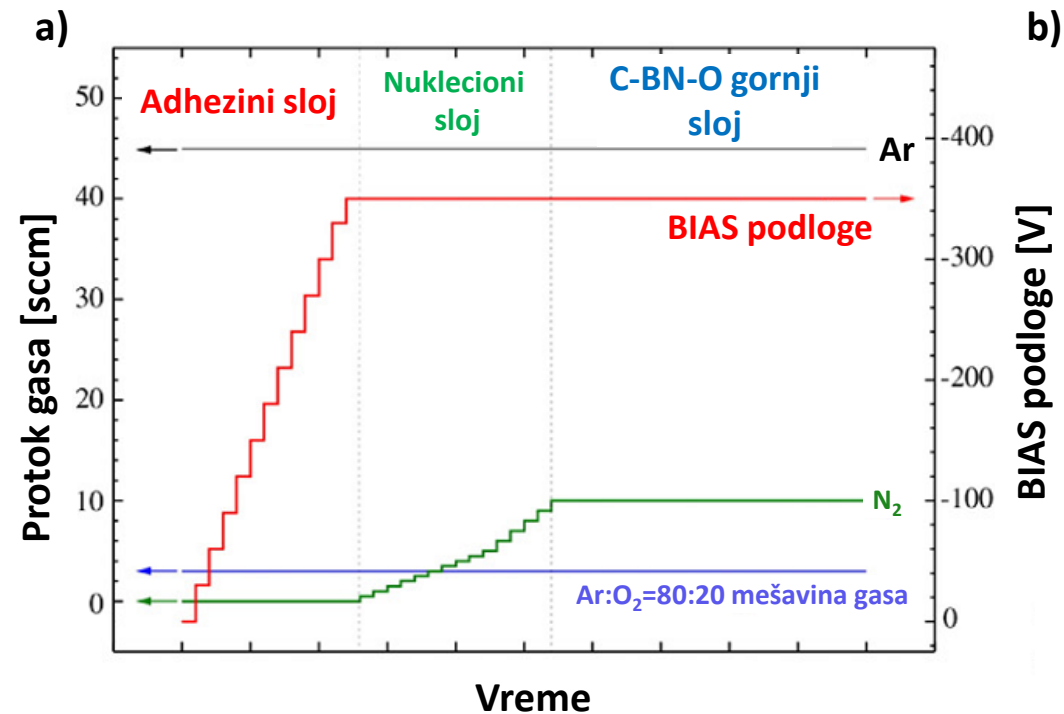


Total coating thickness > 5 μm



Problematika napona i adhezije

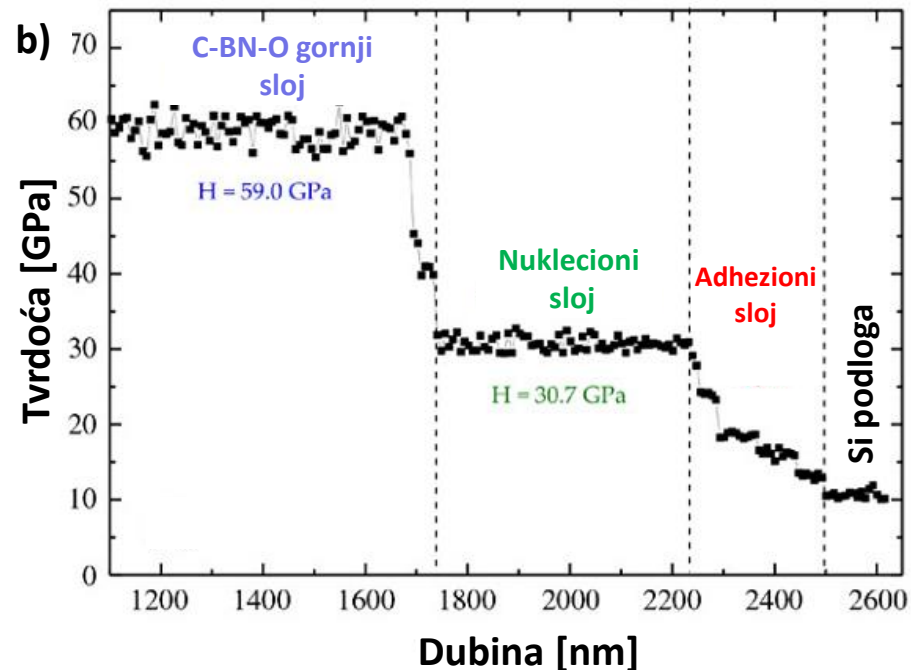
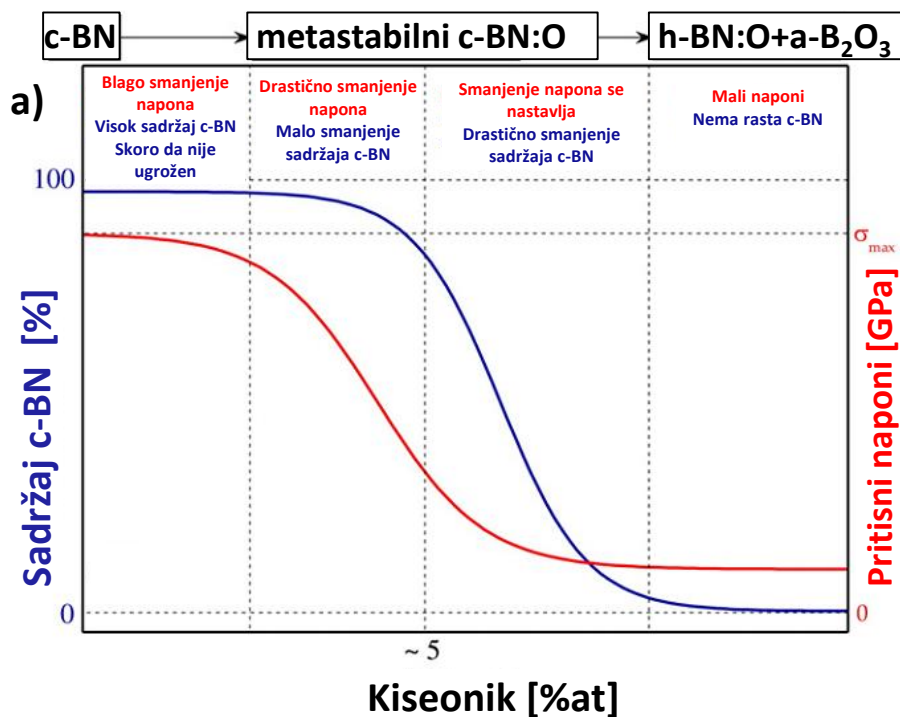
DODAVANJE TREĆEG ELEMENTA



Problematika napona i adhezije

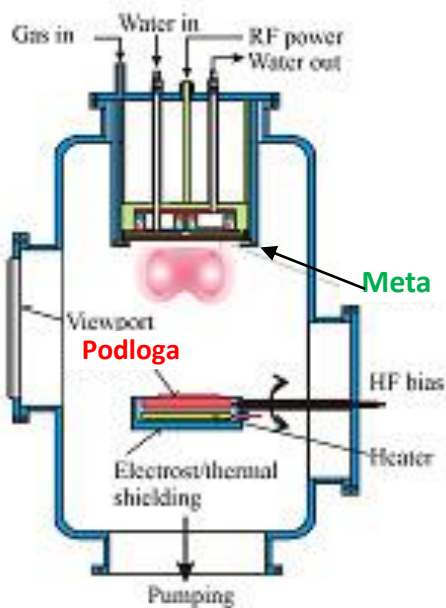
DODAVANJE TREĆEG ELEMENTA

KAO ŠTO SU O, Si, Al, C

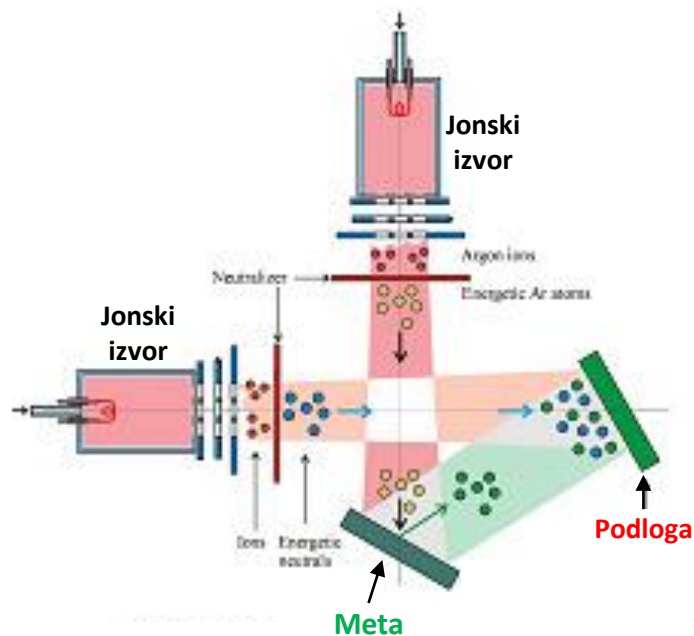


Proizvodnja c-BN prevlaka

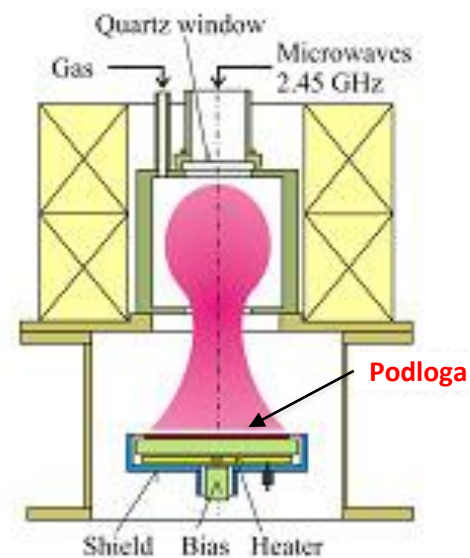
PVD reaktivno raspršivanje



PVD reaktivno raspšivanje jonskim snopom sa mešanjem



Plazmom poboljššan CVD proces (PECVD)

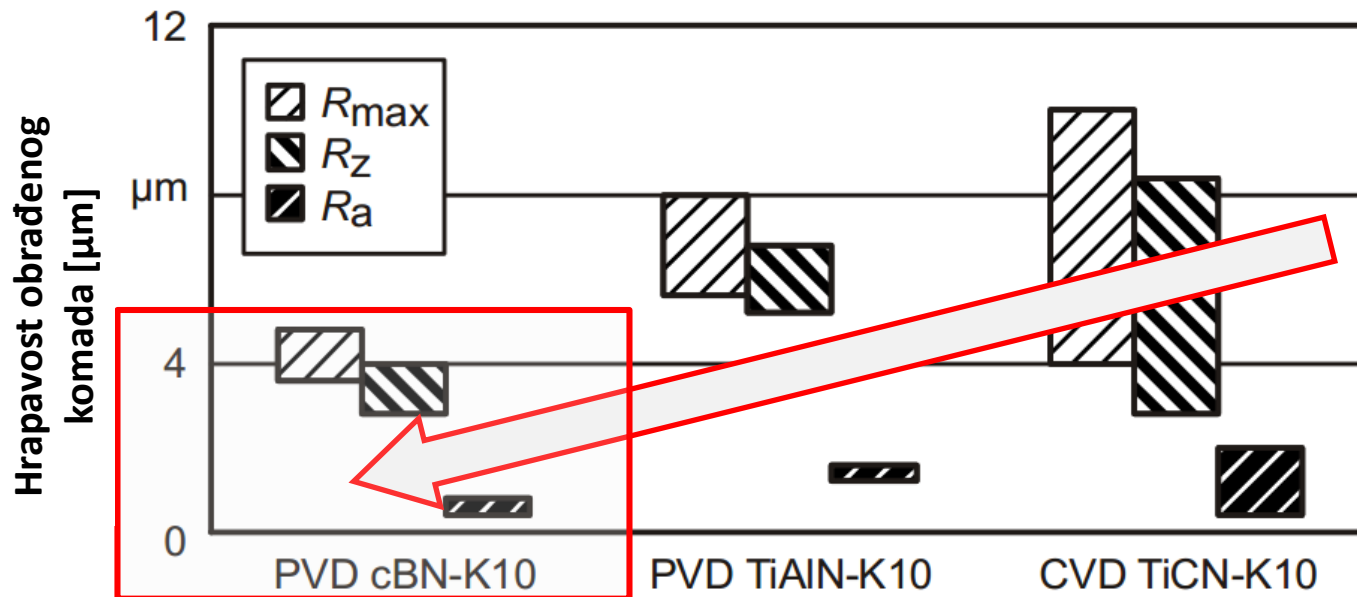


Primena c-BN

OBRADA KALJENOG ČELIKA NA SUVO – VISOK KVALITET POVRŠINE

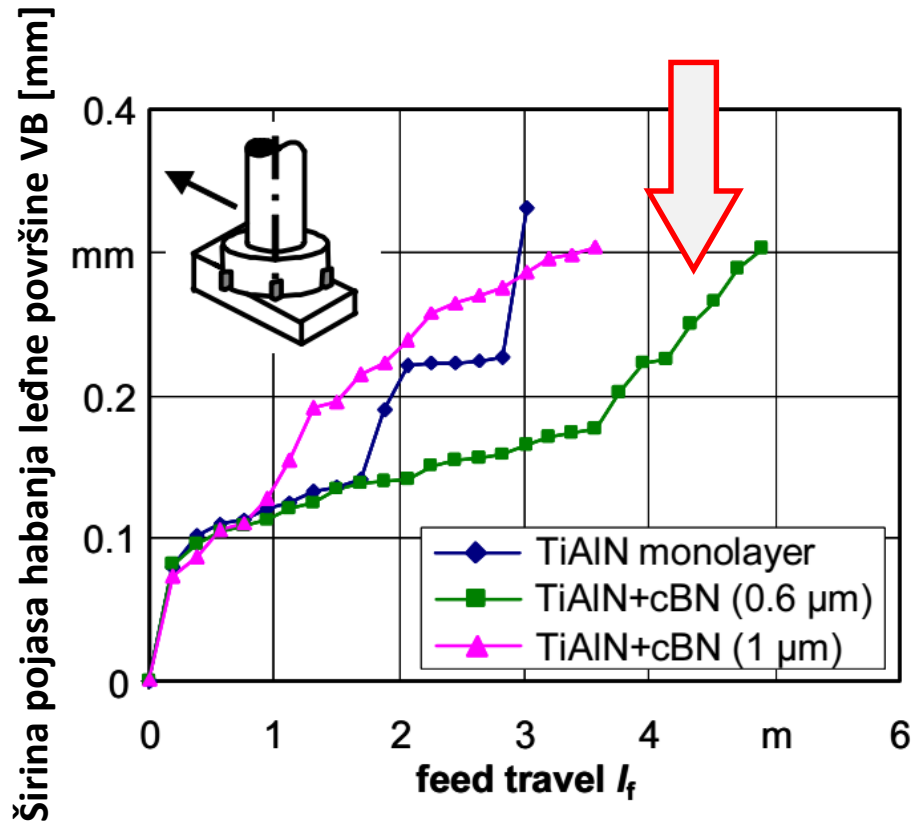
process:	cylindrical turning	workpiece:	1.2379
cutting velo.:	$v_c = 20$ m/min	feed:	$f = 0.1$ mm
depth of cut:	$a_p = 0.5$ mm	lubricant:	dry
ISO code:	CNMA 120408	hardness:	62 HRC

α_0	γ_0	λ_s	κ_r	ε_r	r_ε
6°	-6°	-6°	95°	80°	0.8 mm



Primena c-BN

OBRODANJE ČELIKA ZA RAD NA HLADNO



process: slab milling $v_c = 70$ m/min
ISO Code: RDMW 1204MOT-X $f_z = 0.1$ mm
workpiece: 1.2080 $a_p = 0.5$ mm
hardness: 34 HRC $D_c = 38$ mm
lubricant: dry $z = 1$

Primena c-BN

OBRADA PRI VELIKIM BRZINAMA REZANJA

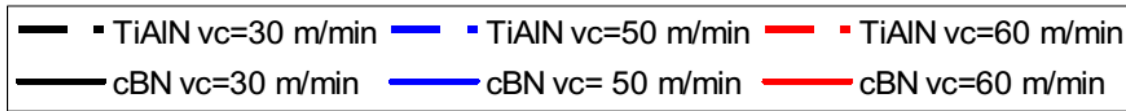


Experimental setup:

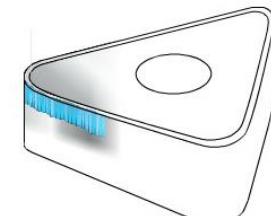
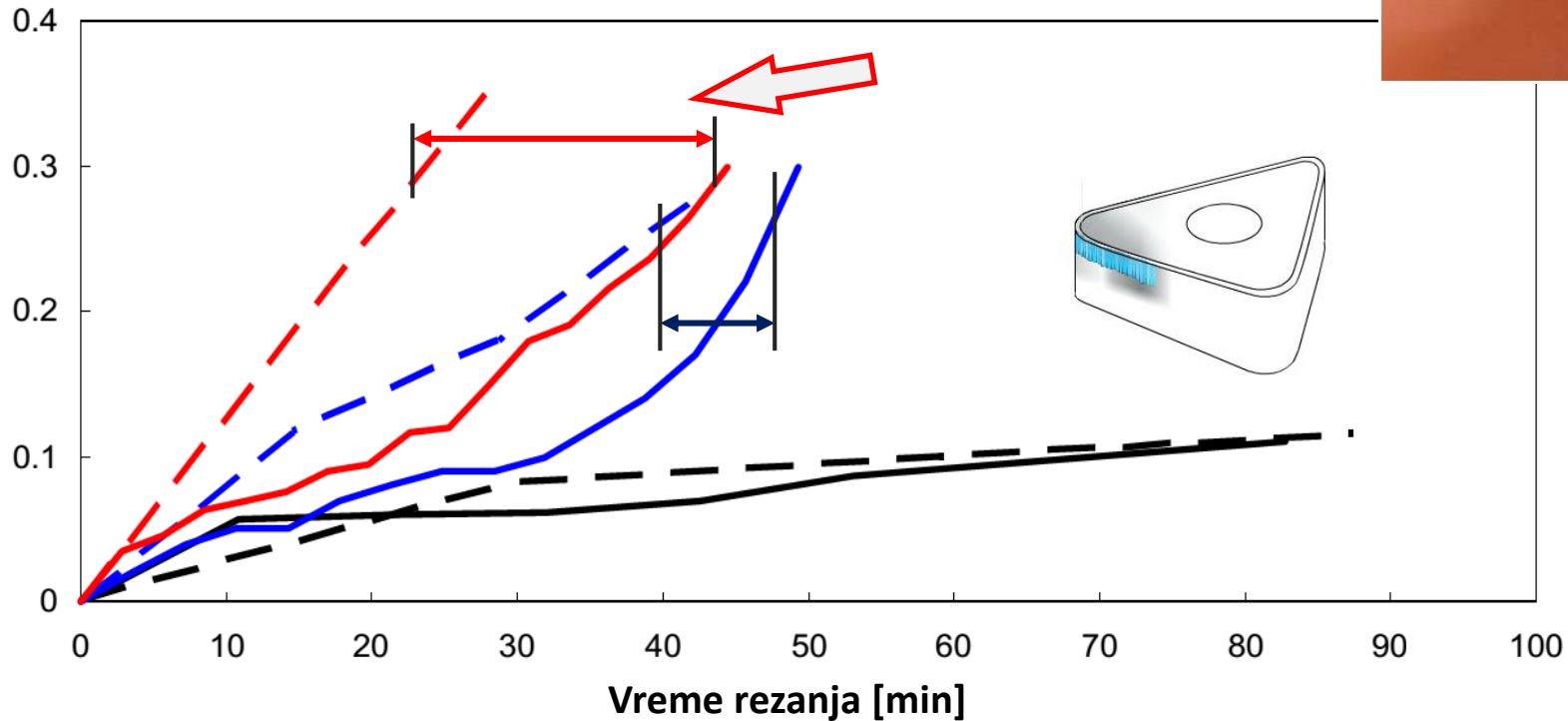
Machine tool:	cnc inclined bed turning lathe VDF 180 C from Boehringler company
Machining process:	external cylindrical turning
Workpiece material:	1.2344 H13
Hardness:	52 HRC
Cutting velocity:	$v_c = 30-60$ m/min
Cutting depth:	$a_p = 0.5$ mm
Feed:	$f = 0.1$ mm
Cooling lubricant:	dry
Workpiece geometry:	cylinder
Workpiece dimensions:	Ø100 x 200 mm
Common parts:	hardened shafts
Commonly used cutting material:	carbides + TiAlN

Primena c-BN

OBRADA PRI VELIKIM BRZINAMA REZANJA



Širina pojasa habanja leđne površine VB [mm]



Primena c-BN

STRUGANJE INKONELA

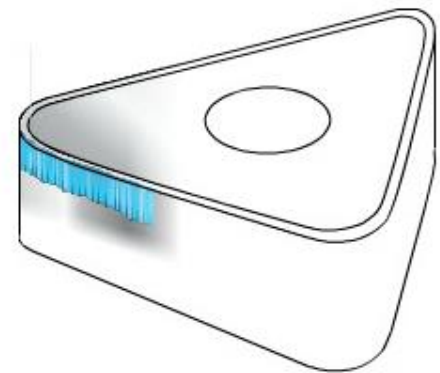
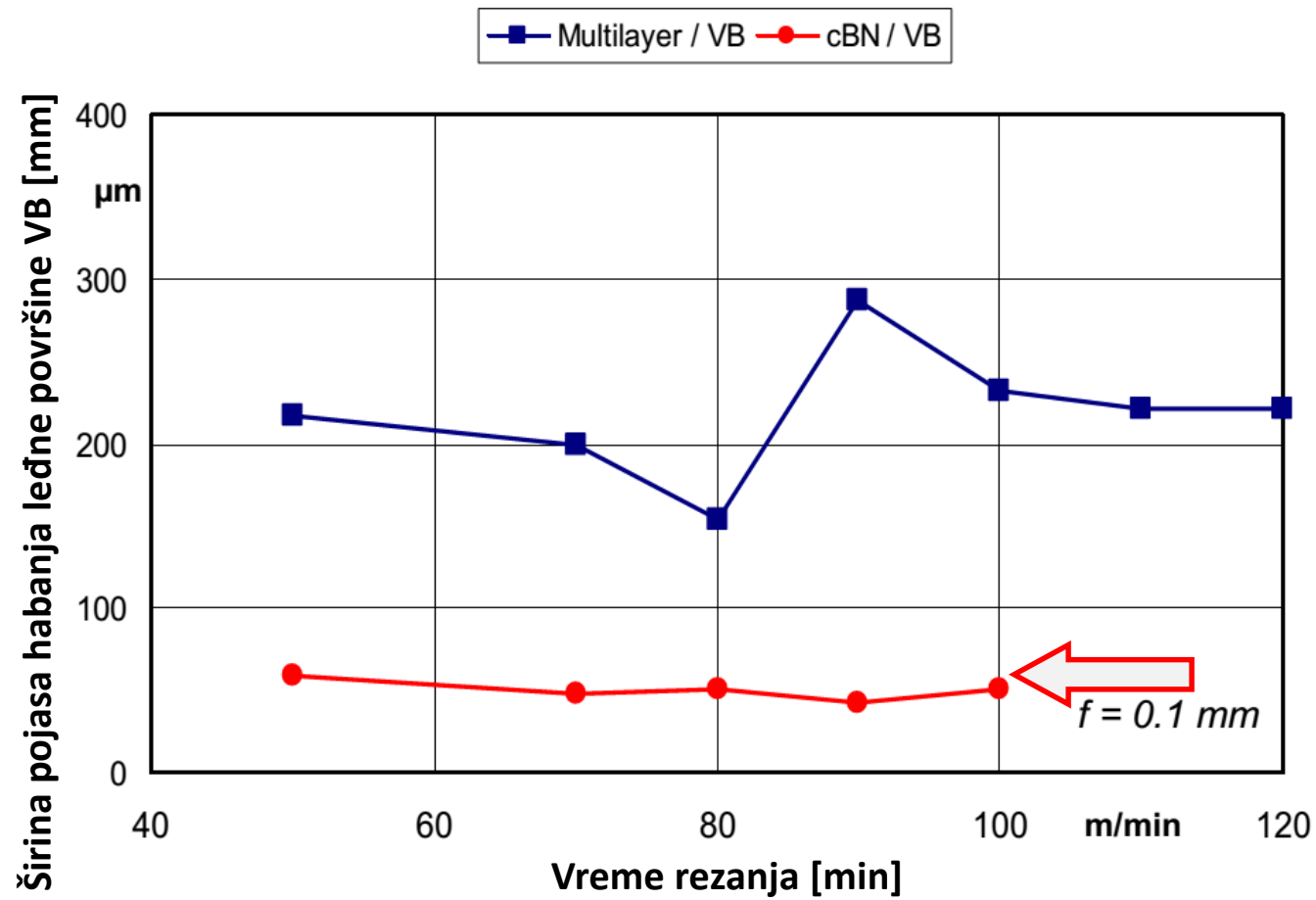


Experimental setup:

Machine tool:	CNC inclined bed turning lathe
Machining process:	External cylindrical turning
Workpiece material:	2.4668
Hardness:	43 HRC
Cutting velocity:	$v_c = 30 - 100 \text{ m/min}$
Cutting depth:	$a_p = 1 \text{ mm}$
Feed: $f = 0.1 \text{ mm}$	
Cooling lubricant:	Dry
Workpiece geometry:	cylinder
Workpiece dimensions:	170 x 200 mm
Common parts:	Jet engines, turbines
Commonly used cutting material:	Carbides + multilayer TiN-Al ₂ O ₃ -TiCN

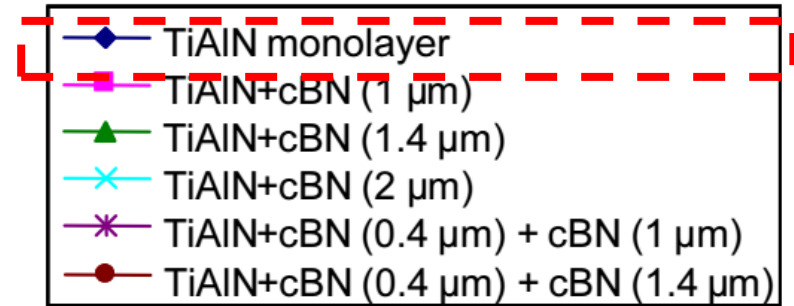
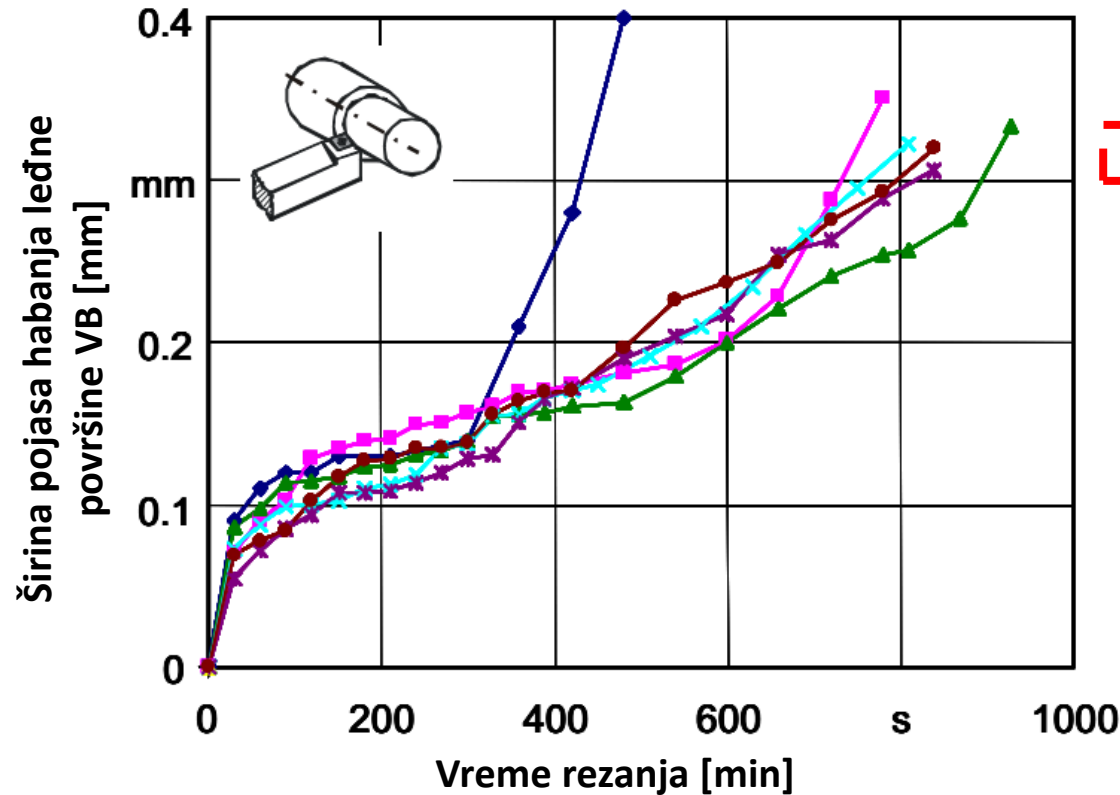
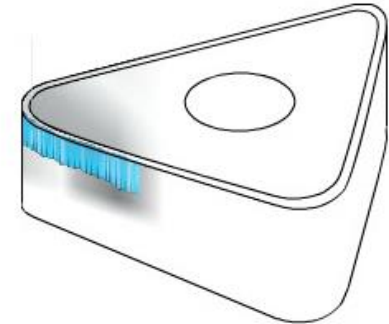
Primena c-BN

STRUGANJE INKONELA



Primena c-BN

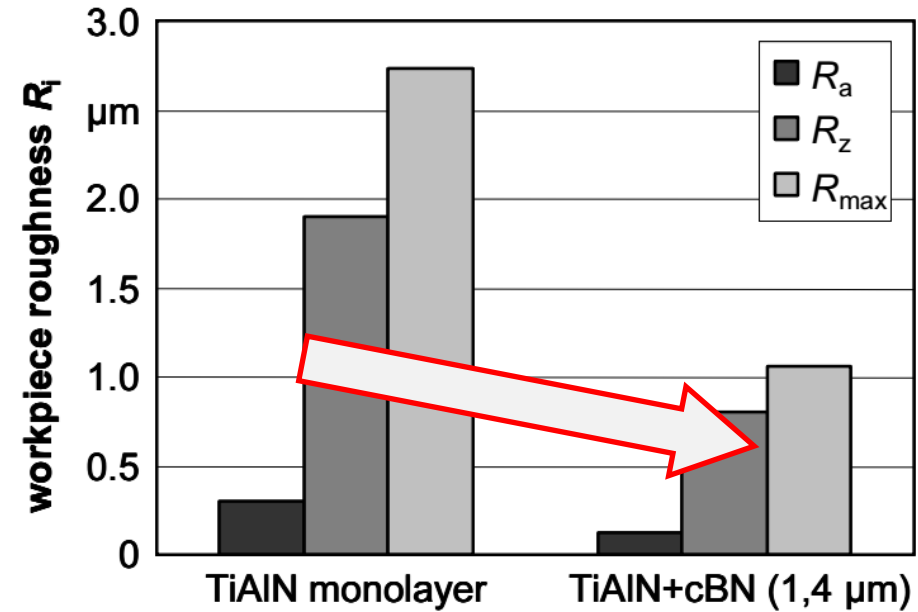
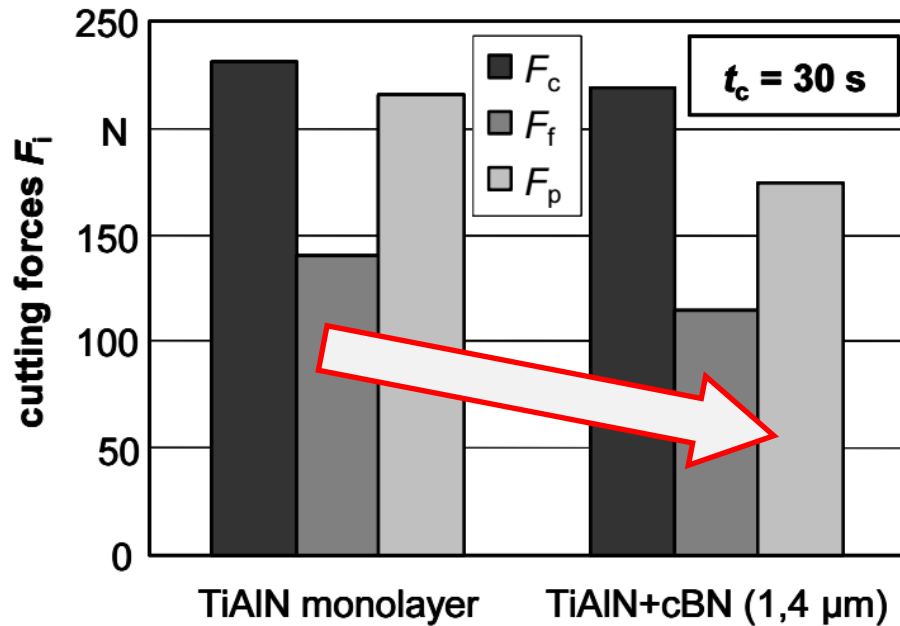
STRUGANJE INKONELA



process: cylindrical turning $v_c = 50$ m/min
ISO Code: CNMG 120408 $t = 0.1$ mm
workpiece: IN 718 $a_p = 0.5$ mm
hardness: 43 HRC lubricant dry

Primena c-BN

STRUGANJE INKONELA



process: cylindrical turning $v_c = 50$ m/min
ISO Code: CNMG 120408 $f = 0.1$ mm
workpiece: 2.4668 $a_p = 0.5$ mm
hardness: 43 HRC lubricant: dry

Cutting forces and workpiece roughnesses of the cBN coating and the reference coating during machining of Inconel 718.

ANALYSIS AND APPLICATION OF CBN COATED CUTTING TOOLS
E. Uhlmann¹, J.A.O. Fuentes¹, M. Keunecke², Proceedings of the 7th International Conference Coatings in Manufacturing Engineering, 1-3 October 2008, Chalkidiki, Greece

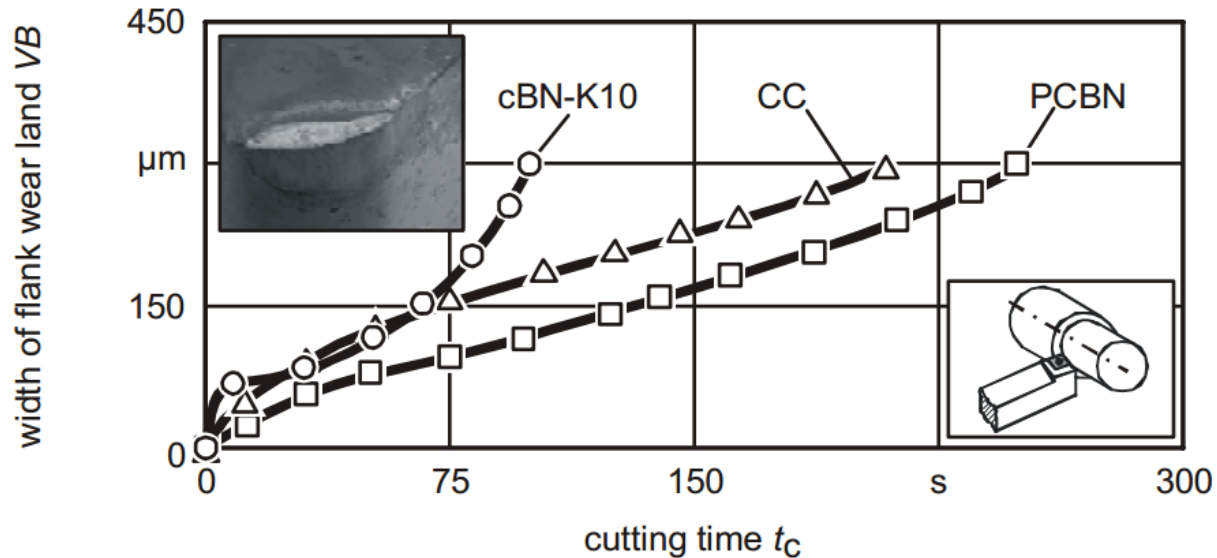
Primena c-BN

STRUGANJA NODULARNOG LIVA



process:	cylindrical turning	workpiece:	GJS-500-7
cutting velo.:	$v_c = 1000$ m/min	feed:	$f = 0.1$ mm
depth of cut:	$a_p = 0.5$ mm	lubricant:	dry
ISO code:	CNMA 120408	hardness:	300 HB 30

α_0	γ_0	λ_s	κ_r	ϵ_r	r_ϵ
6°	-6°	-6°	95°	80°	0.8 mm



ŠKOLSKA 2019/2020

INŽENJERSTVO POVRŠINA

HVALA NA PAŽNJI!

Doc. dr Pal Terek

Doc. dr Aleksandr Miletić

Univerzitet Novi Sad, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, Srbija

