

# Ispitivanje utjecaja prevlačenja PACVD postupkom na promjenu površinske hrapavosti i topografije površine

---

**Balaton, Antun**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2015**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:235:144983>

*Rights / Prava:* [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-01-13**

*Repository / Repozitorij:*

[Repository of Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# ZAVRŠNI RAD

**Antun Balaton**

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# ZAVRŠNI RAD

Mentor:

prof. dr. sc. Darko landek,

Student:

Antun Balaton

Zagreb, 2015.

## Izjava

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći stečena znanja tijekom studija i navedenu literaturu.

Antun Balaton

## Zahvala

Zahvaljujem se mentoru izv. prof. dr.sc.Darku Landeku na pristupačnosti, strpljenju, I uloženom trudu u ispravljanje nehotice stvorenih pogrešaka u pisanju ovog rada.Također se zahvaljujem prof.dr.sc. Gorani Baršić na uloženom vremenu prilikom provedbe ispitivanja.

**SADRŽAJ**

SADRŽAJ.....	I
POPIS SLIKA.....	II
POPIS TABLICA.....	III
SAŽETAK.....	IV
1. Uvod.....	1
2. Struktura površinskog sloja.....	2
3. Priprema površine alata za prevlačenje postupkom PACVD.....	5
3.1 Priprema površina brušenjem.....	5
3.2 Poliranje površina.....	7
4. Osnove postupka PACVD.....	8
5. Metode ispitivanja topografije površine.....	12
5.1. Osnovne značajke tehničkih površina i parametri topografije.....	12
5.2. Mjerni uređaji.....	16
5.2.1 Uređaji s ticalom.....	17
5.2.2 Elektroničko-mehanički uređaj s ticalom Perthometer S8P.....	20
5.2.3 Surface Roughness Tester TR200/210/220 uređaj s ticalom.....	21
6. Plan pokusa i priprema uzoraka.....	25
7. Rezultati ispitivanja topografije površine i diskusija rezultata.....	28
7.1 Priprema i provedba ispitivanja topografije površine.....	28
7.2 Parametri hrapavosti $R_a$ $R_z$ .....	29
7.3 Profili hrapavosti.....	34
8. Zaključak.....	40
9. Popis literature.....	41
PRILOZI.....	42
Prilog 1.....	42

## POPIS SLIKA

Slika 1. Struktura površine (poprečni presjek) .....	2
Slika 2. Shematski prikaz osnovnih vrsta suvremenih prevlaka na alatima i strojnim dijelovima [1].....	3
Slika 3. Višeslojna prevlaka proizvedena postupkom PACVD na tvrdom metalu P30 [2].....	4
Slika 4. brusni papir u listovima s različitim finoćom brusnih zrnaca .....	6
Slika 5. Uređaj za brušenje Dap- W Steruers.....	6
Slika 6. uređaj za poliranje uzoraka [5].....	7
Slika 7. Osnovna shema PACVD procesa [6].....	8
Slika 8. Dijagram postupka prevlačenja čelika stvaranja prevlaka TiN/TiCN [7].....	9
Slika 9 . Prikaz šaržirne naprave u komori PACVD-a.....	10
Slika 10. Osnovna odstupanja na površini.....	12
Slika 11. Izgled elemenata površine bez grešaka na površini.....	13
Slika 12. Metoda podjele na segmente: (a) snimljena površina, (b) valovitost (c) hrapavost [14].....	15
Slika 13. Mjerni uređaji u topografiji površina [15] .....	16
Slika 14. Konstrukcija ticala [17] .....	17
Slika 15. Metode 3D mjerenja uređaja s ticalom [19].....	18
Slika 16. Perthometar S8P.....	20
Slika 17. Prijenosni uređaj i karakteristične vrste ticala.....	22
Slika 18. Završno čišćenje i odmaščivanje ispitnih uzoraka prije prevlačenja.....	27
Slika 19 . Izgled ispitnih uzoraka prije PACVD prevlačenja.....	27

**POPIS TABLICA**

Tablica 1. Raspon temperature nanošenja prevlaka u postupcima CVD I PACVD <sup>[8]</sup> .....	10
Tablica 2. Karakteristike uređaja u topografiji <sup>[20]</sup> .....	19
Tablica 3. Mjeriteljske značajke uređaja Perthometer S8P .....	20
Tablica 4. Roughness Tester TR200/210/22 mjeriteljske značajke .....	22
Tablica 5 . sadrži podatke o čelicima, oznakama i toplinskoj obradi .....	26
Tablica 6. Rezultati mjerenja za uzorke oznaka B, i D na mjernom uređaju Perthometer S8P .....	29
Tablica 7 . Rezultati mjerenja za uzorke oznaka C na mjernom uređaju Surface Roughness Tester TR200/210/220 .....	29
Tablica 8. Prikaz profila hrapavosti čelika oznake B naziva Vidar 1 ESR dobivenih na uređaju Perthometer S8P .....	36
Tablica 9 . Prikaz profila hrapavosti čelika oznake D naziva K 110 dobivenih na uređaju Perthometer S8P .....	37
Tablica 10. Prikaz profila hrapavosti čelika oznake C dobiveni na uređaju Surface Roughness Tester TR200/210/220 .....	38
Tablica 11. prikaz svojstava koji su dani u tablicama 8, 9 i 10 .....	39



**POPIS OZNAKA**

<i>Ra</i>	nm	srednje aritmetičko odstupanje profila
<i>Rz</i>	nm	najveća visina neravnina profila

**SAŽETAK**

Primjena plazmom potpomognutog kemijskog prevlačenja iz parne faze (PACVD) jest dobivanje višeslojnih prevlaka na konstrukcijskim dijelovima i alatima koje produljuju vijek trajanja te daju bolja tribološka, mehanička i antikorozijska svojstva obratka. Završna priprema površine poput brušenja i poliranja i čišćenja i značajno utječe na prionjivosti prevlake i kvalitetu površine prevlake. U radu je i provedeno ispitivanje hrapavosti i topografije površine na ispitnim uzorcima od tri vrste alatnih čelika. Svaki čelik razlikuje polazno stanje (osnova toplinska obrada), nitrirano stanje dobiveno plazmom ioniziranih plinova te primjena prevlaka TiCN ili TiBN dobivene PACVD postupkom. Na temelju provedenih ispitivanja procijenjen je utjecaj pojedine prevlake na hrapavost površine alatnih čelika.

## 1. Uvod

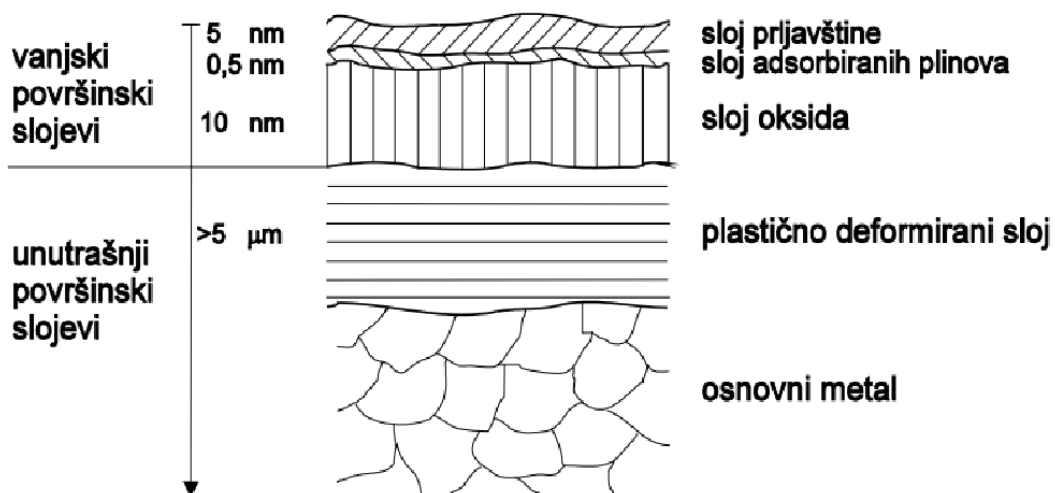
Današnja ispitivanja i istraživanja u području topografije uzimaju velik značaj u strojarstvu. Problematika površine, svojstva, parametri, izgled mogu značajno utjecati na konstrukcijsku namjenu elementa u eksploataciji. Različitim tradicionalnim i inovativnim površinskim postupcima (modificiranjem i/ili prevlačenjem) postiže se sustav površinski sloj/osnovni materijal sa svojstvima koja garantiraju potrebne eksploatacijske performanse uz prihvatljive proizvodne troškove. U okviru ovog završnog projekta ispitivanja će biti usmjerena na uzorke koji su prevučeni različitim tipovima prevlaka. Tehnologija prevlačenja uzoraka je PACVD (eng. Plasma assisted chemical vapour deposition) postupak kojim su na osnovne materijale naneseni su razni supstrati (keramički spojevi, TiBN, nitridni sloj).

U sljedećim poglavljima govorit će o strukturi površinskog sloja, tehnologijama pripreme površine i njezinim posljedicama na hrapavost ispitivane površine. Također će biti predstavljena tehnologija PACVD postupka te objašnjena njezina uloga u nastajanju slojeva prevlaka. Jedno od sljedećih poglavlja teoretski će pokrijepiti područje topografije površine tj. hrapavost površine i ispitivani parametri. Glavno poglavlje opisano je u eksperimentalnom dijelu rada gdje će biti govora o utjecaju prevlačenja na hrapavost površine. Izložiti će se međusobni utjecaji i najažniji čimbenici procesa koji omogućavaju shvaćanje rasta sloja i prijanjanje uz podlogu

## 2. Struktura površinskog sloja

Površina metalnih materijala nije samo geometrijska ploha koja omeđuje volumen predmeta, već je kemijski i mikrostrukturno složena granica na kojoj se pojavljuju kemijski, mehanički i tribološki procesi. Struktura površinskog sloja sastavljena je od vanjskih i unutrašnjih slojeva (slika 1). S obzirom na temu rada detaljnije će se opisati struktura površinskih slojeva na alatnim čelicima.

Vanjski površinski sloj na čeliku rezultat je djelovanja okolišne atmosfere, temperature i radnih medija kojima je obradak bio izložen u procesu proizvodnje. Slojevi metalnih oksida u vanjskom površinskom sloju nastaju ovisno o vrsti atmosfere kojoj je obradak bio izložen i temperaturi obrade. Uobičajeno na čelicima koji su bili toplinski obrađeni nastaju oksidi željeza, kroma, aluminijski, ali i ostalih elemenata prisutnih u čeliku koji imaju velik afinitet prema kisiku u plinskoj atmosferi. Na okside se talože apsorbirane čestice plinova (klorida, ugljikovih plinova, sumporovodika, peroksida i vodene pare). Na vrhu vanjskog površinskog sloja nalaze se nečistoće čestice su adhezijski privučene na površinu obratka.

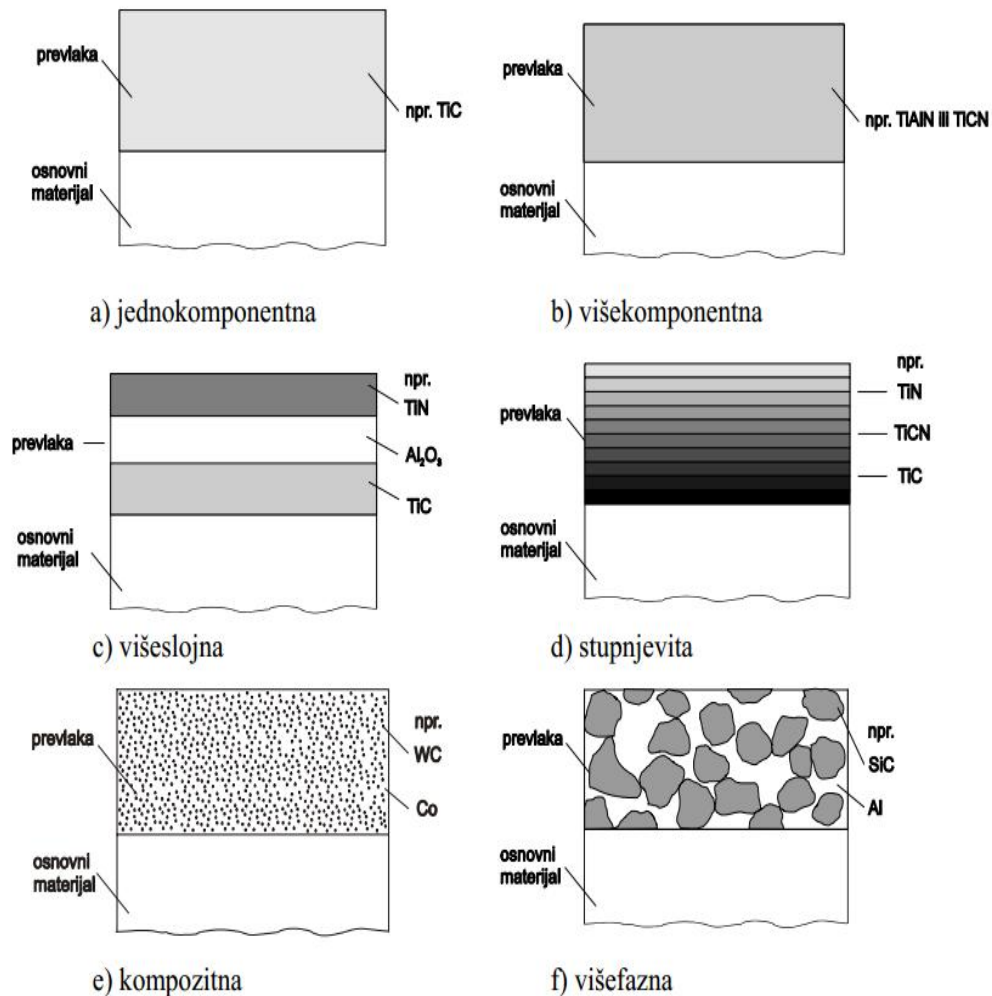


Slika 1. Struktura površine (poprečni presjek)

Ispod vanjskog površinskog sloja nalazi se unutrašnji sloj uobičajeno u ugnječenom (plastično deformiranom) stanju sa zaostalim naprezanjima. Plastično deformirani unutrašnji sloj je mikrostrukturnoanizotropan, a takva su mu mehanička i korozijska svojstva.

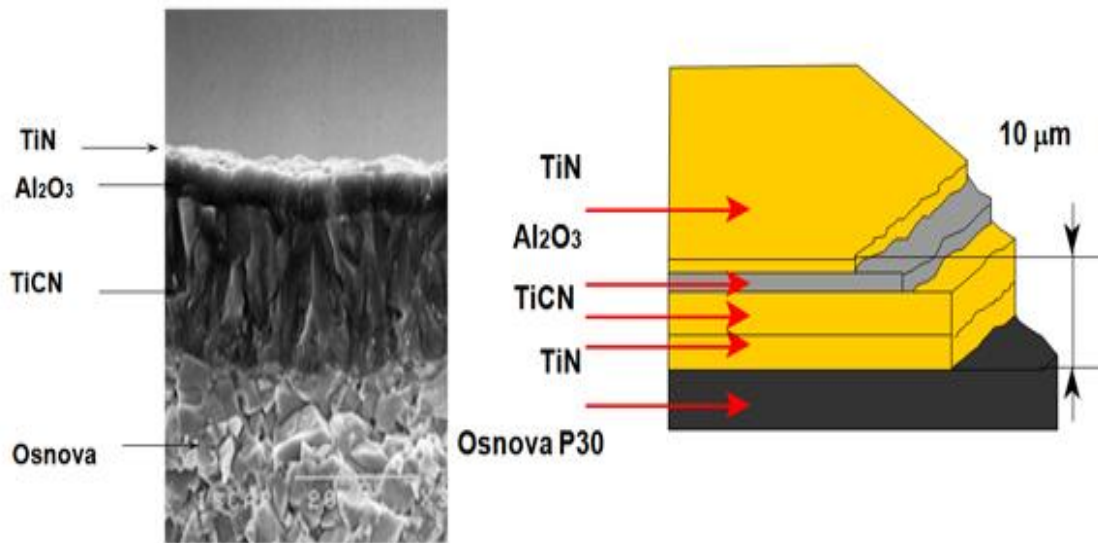
Postupcima modificiranja i prevlačenja površine dodatno se mijenja struktura površinskog sloja u cilju povećanja otpornosti na trošenje, koroziju ili postizanja nekih drugih za eksploataciju značajnih svojstava.

Prevlake mogu biti različitih izvedbi ovisno o željenim svojstvima. U pravilualati i strojni elementi izloženi su složenim tribološkim, mehaničkih i korozijskim procesima pa su zahtjevi na njihovasvojstvavišestruki. Neke prevlake moraju osigurati otpornost na trošenje, koroziju, visoke temperature, estetski izgled i karakteristična mehanička svojstva na površini. U pogledu ovih zahtjeva nije dovoljna samo jedna jednoslojna ili višeslojna prevlaka nego se koriste stupnjevite prevlake, a u odrađenim slučajevima i kompozitne prevlake (slika 2).



Slika 2. Shematski prikaz osnovnih vrsta suvremenih prevlaka na alatima i strojnim dijelovima [1]

Primjer jedne složene višeslojne prevlake proizvedene postupkom PACVD prikazan je na slici 3. Na slici 3.a prikazana je mikrostruktura prevlake, a na slici 3. B shematski prikaz kemijskog sastava. Na podlogu tvrdog metala (P30) nanesen je vezivi sloj titan nitrida (TiN), a zatim funkcionalni slojevi titan karbon nitrida i aluminijevog oksida ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) te završni sloj titanovog nitrida (TiN). Kombinacija navedenih slojeva omogućuje dobivanje eksploatacijskih svojstava koja nisu postiziva primjenom samo jednog sloja. Ukupna debljina prikazane višeslojne prevlake iznosi do  $10\mu\text{m}$ . Slične prevlake na alatnim čelicima su debljine svega između 2 do  $5\mu\text{m}$ .



Slika 3. Višeslojna prevlaka proizvedena postupkom PACVD na tvrdom metalu P30[2]

- Izgled prevlake snimljen skenirajućim pretražnim mikroskopom (SEM)
- Shematski prikaz strukture višeslojne prevlake

### 3. Priprema površine alata za prevlačenje postupkom PACVD

U pripremi površine koriste se mehanički, toplinski, kemijski i elektrokemijski postupci. Svrha pripreme površine može biti:

- čišćenje površine (uklanjanje masnoća, produkata korozije i drugih onečišćenja),
- postizanje određene kvalitete površine, odnosno optimalnih parametra topografije površine.

U većini postupaka pripreme površine redoslijed operacija uklanjanja nepoželjnih produkata s površine je slijedeći [3]:

- mehaničko ili kemijsko uklanjanje onečišćenja
- otapanje masnoća
- staklarenje, brušenje ili poliranje površine s ciljem uklanjanja oksida
- pjeskarenje, staklarenje ili brušenje površine zbog uklanjanja produkata korozije,
- otapanje soli,
- neutralizacija i uklanjanje kiselina ili lužina ako je obradak bio izložen agresivnom mediju.

#### 3.1 Priprema površina brušenjem

Brušenje površine je postupak obrade odvajanjem čestica s ciljem dobivanja (glatke) površine veće nosivosti i manje hrapavosti. U pripremi ispitnih uzoraka u radu korišteno je ručno i strojno brušenje brusnim papirima i strojno brušenje na uređaju za metalografsku pripremu.

Brušenje brusnim papirima je dovoljno kvalitetan postupak pripreme, ispitnih uzoraka koji daje hrapavost površine sličnu površinama industrijski obrađenih strojnih dijelova i (nekih) alata. Brusni papiri (slika 4) sortirani su prema veličini brusnog zrna u 6 skupina:

- jako gruba brusna traka: oznake P 8, 10 i 12;
- gruba brusna traka: oznake P 14, 16, 20 i 24;
- srednja brusna traka: oznake P 30, 36, 46, 54 i 60;
- fina brusna traka: oznake P 70, 80, 90, 100 i 120;
- jako fina brusna traka: oznake P 160, 180, 200, 220 i 240;
- prašina: oznake P 280, 320, 400, 500 i 600. [3]



Brusne papire ili trake moguće je također sortirati prema boji (slika 4)



(P40 - lijevo, P80, P150, P240, P600 - desno).

Slika4.brusni papir u listovima s različitom finoćom brusnih zrnaca

Za strojno brušenje uzoraka u radu je korištena metalografska brusilica (slika 5).



Slika 5. Uređaj za brušenje Dap- W Steruers

### 3.2 Poliranje površina

Proces poliranja uobičajeno slijedi nakon brušenja. Poliranje je također postupak obrade odvajanjem čestica, a služi za dobivanje površina visoke kvalitete površina, dekorativnog izgleda i povećane nosivosti površine. Poliranje pripada grupi završnih obrada strojnih dijelova i alata, a također je nužan postupak pripreme površina za ispitivanja topografije površina i mikrostrukturnaispitivanja.

Kao sredstvo za poliranje uobičajeno se koristi glinica ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) ili magnezij-oksidi ( $\text{MgO}$ ) u vodenoj suspenziji. Primjenjuju se glinice tri razine finoće 1, 2 i 3. Najgrublja vrsta, br. 1, koristi se za metale viših tvrdoća (čelik 1000-2000HV<sub>0,5</sub>), srednja vrsta, br. 2, za mekše metale (500-1000HV<sub>0,5</sub>) a najfinija vrsta, br. 3, za meke metale (100-500HV<sub>0,5</sub>). Poliranje se provodi na disku (slika 6) koji rotira brzinama od 1000 do 1500 okr/min. Na disku je zategnuta čvrsta debela tkanina. Za poliranje su posebno pogodne vunene tkanine i svila. Tvrdi materijali se bolje poliraju čvrstom gustomtkaninom dok su meki materijali bolje poliraju tankom finom tkaninom.

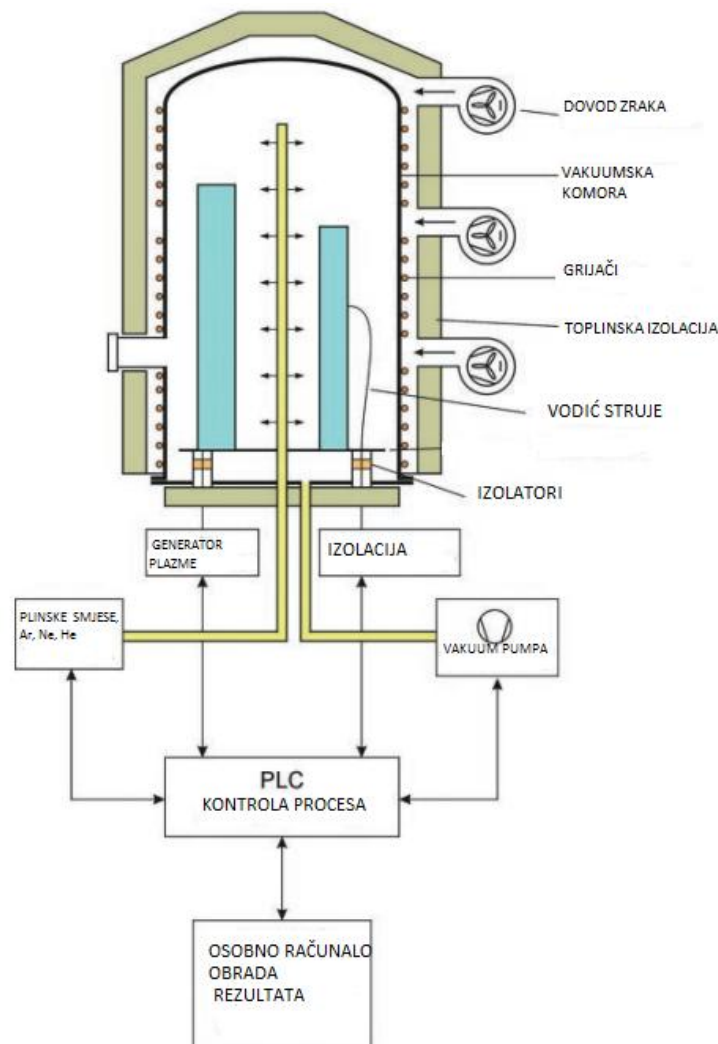
Za vrijeme poliranja uzorak se giba u pravcu suprotnom od rotacije diska za poliranje. Razlog tome je što iza tvrdih mikrokonstituenata, kao što su karbidi, troska i dr., ostaju neispolirani tragovi. Prilikom gibanja u pravcu suprotnom od rotacije diska ne dolazi do nastanka takvih tragova. Poliranje ne smije trajati predugo zbog toga što se mekši konstituenti izvuku iz površinskog sloja i površina postaje reljefna, a time se otežava provedba daljnjih ispitivanja. Čišćenje uzoraka nakon poliranja obavlja se u hladnoj ili toploj vodi i alkoholu, a zatim se površine obavezno suše u struji toplog zraka [4].



Slika 6. uređaj za poliranje uzoraka [5]

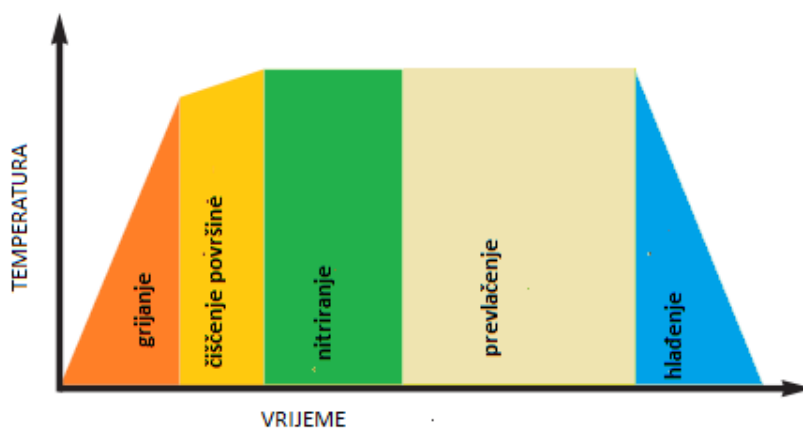
#### 4. Osnove postupka PACVD

Kemijsko prevlačenje iz parne faze (eng. Chemical Vapor Deposition, CVD) je postupak u kojem se stvara čvrsta prevlaka na zagrijanoj podlozi kao posljedica kemijskih reakcija i fizikalnih procesa u plinovitoj fazi[5]. Proces je prikladan za proizvodnju prevlaka, prahova i vlakana. Najprikladnije podloge za CVD postupak jesu tvrdi metali, legure nikla i kobalta te metalno-keramički kompoziti koji se mikrostrukturno ne mijenjaju na temperaturama nanošenja prevlake (900 do 1000 °C). Da bi se ostvarilo kvalitetno prevlačenje alatnih visokolegiranih čelika ( brzorezni čelici, ledeburitni čelici za hladni rad, alatni čelici za hladni rad) razvijen je postupak plazmom potpomognutog kemijskog prevlačenja (eng. Plasma Assisted Chemical Vapor Deposition, PACVD ) koji se provodi na temperaturama od 450 do 600°C (slika 7).



Slika 7. Osnovna shema PACVD procesa [6]

U postupku PACVD kemijska reakcija stvaranja TiN, TiCN ili TiBN je dodatno je uz utjecaj temperature aktivirana električnim poljem ioniziranog plina. Temperatura procesa je jedan od najutjecajnijih parametara namikrostrukturu i svojstva prevlake. Niža temperatura nanošenja utječe na to da struktura nastalog sloja bude amorfna ili sitnozrnata što znatno poboljšava svojstva prevlake (tablica 1). PACVD postupak proizvodnje tvrdih prevlaka (TiCN ili TiBN) sastoji se iz više faza koje se provode u istom uređaju u određenom slijedu (slika 8):

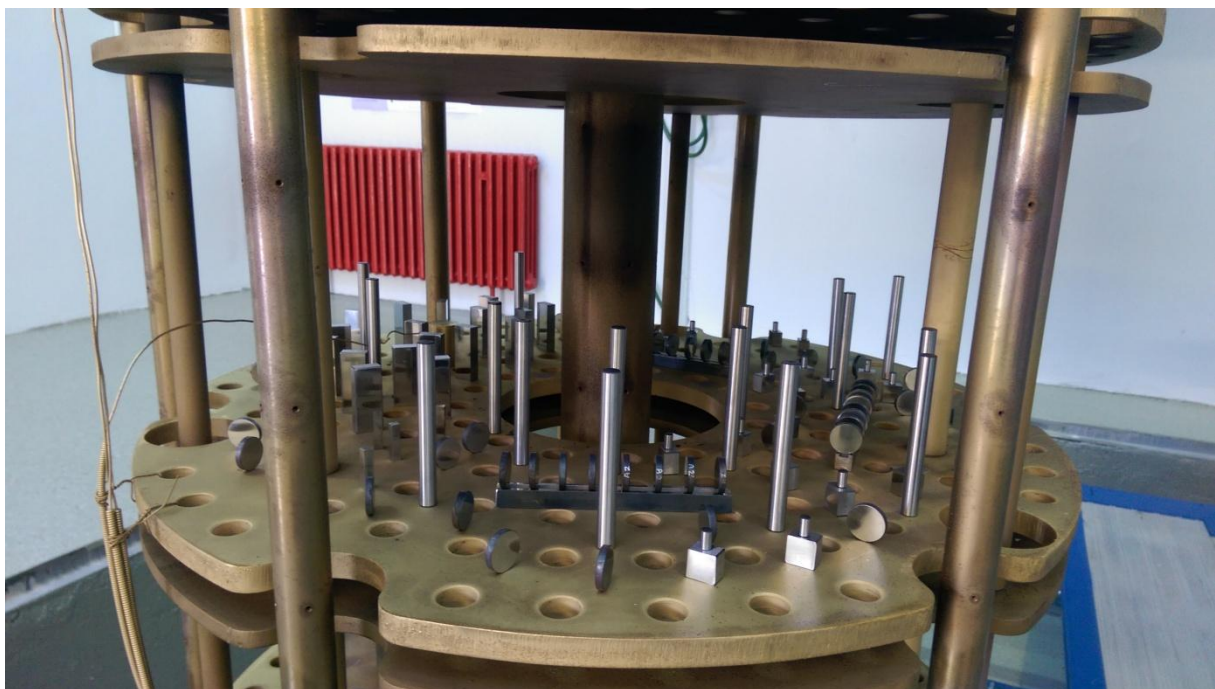


Slika 8. Dijagram postupka prevlačenja čelika stvaranjem prevlaka TiN/TiCN [7]

Tablica 1. Raspon temperature nanošenja prevlaka u postupcima CVD i PACVD [8]

Materijal	Temperaturananošenja (°C)	
	KlasičniCVD	PACVD
Silicij	1000-1250	750
Polisilikon	650	200-400
Silicij-nitrid	900	300
Silicij-dioksid	800-1100	300
Titan-karbid	900-1100	500
Titan-nitrid	900-1100	500
Volfram-karbid	1000	325-525

U pripremi postupka PACVD prevlačenja značaj utjecajni čimbenik je način šaržiranja obradaka. Jednostavna operacija slaganja dijelova na nosač može se zakomplicirati ukoliko je prisutan velik broj uzoraka različitih profila, dimenzija, površina koji se prevlači u istom u ciklusu. Traženi parametar je debljina sloja rastuće prevlake, a ona izravno ovisi o rasporedu i izloženosti površina mediju koji struji kroz retortu i izaziva kemijsku reakciju na površini. Dakle potrebno je imati iskustvo i znanje u radu sa šaržiranim napravama, inače cijeli proces neće imati smisla. Na slici 9 prikazana je tipična šarža ispitnih uzoraka i dijelova alata prije postupka prevlačenja.



Slika 9 . Prikaz šaržirne naprave u komori PACVD-a



U istom reaktoru se promjenom mjera aktivnih plinova i radnih parametara plazme može se postići stvaranje slojeva polikristalnog dijamanta (eng. diamond like carbon, DLC). DLC slojevi dobiveni PACVD postupkom odlikuju se niskim koeficijentom trenja i jednoličnom visokom tvrdoćom. Uobičajene debljine slojeva su od 1 do 8  $\mu\text{m}$  uz tvrdoću 1000 do 3000 HV. [9]

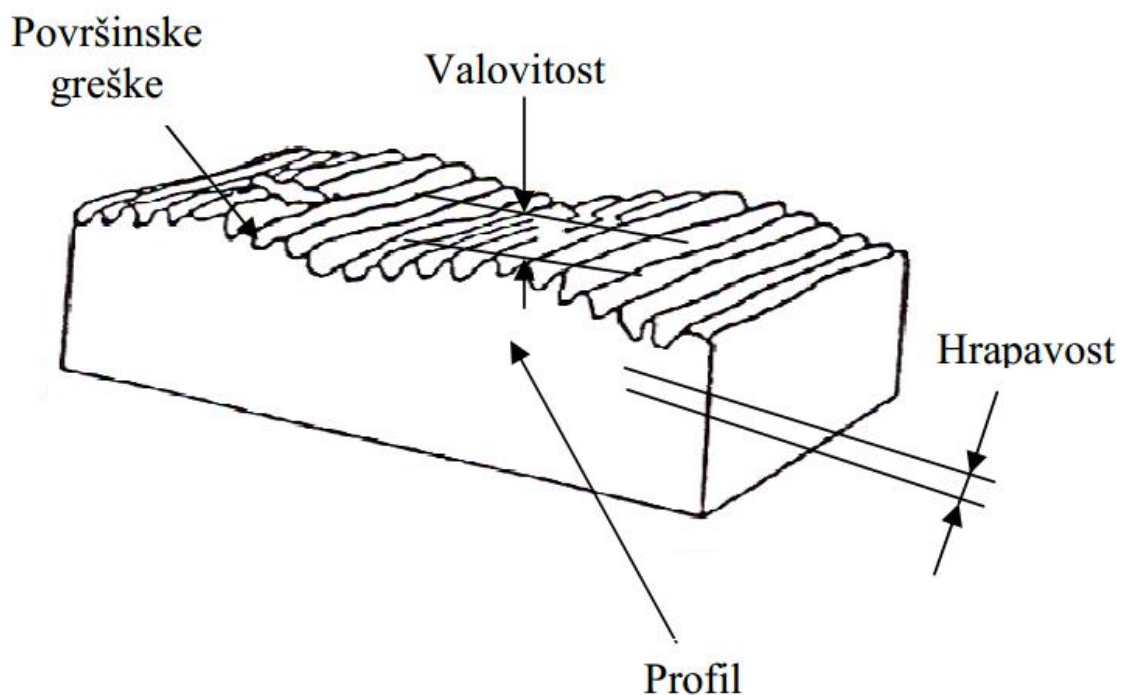
Uz niz prednosti postupka PACVD ima nekoliko ograničenja:

- nemogućnost proizvodnje jednoslojne prevlake bez sekundarnih produkata i plinova.
- zbog niskere reakcijske temperature, aktivni plinovi ili produkti kemijskih reakcija ostaju uključeni u prevlake.
- kod prevlaka sinternim spojevima poput nitrida, oksida, karbida ili silicida, steheometrijski sastav spoja je rijetko postiziv.
- Pojava toplinskih naprezanja u prevlaci, posebno kod prevlaka debljine veće od  $2\mu\text{m}$ , što kod debljih filmova može izazvati pucanje i raslojavanje prevlake.
- Neke podloge koje se koriste mogu biti oštećene utjecajem bombardiranja površine elektronima pojavom iskrenja između obratka i elektroda, naročito ako je energija elektrona iznad 20 eV. Ovo ukazuje na to da brzina nanošenja, a često i osobine nanošenog filma zavise od jednoličnosti plazme. [10]

## 5. Metode ispitivanja topografije površine

### 5.1. Osnovne značajke tehničkih površina i parametri topografije

Površine strojnih dijelova i alata (tehničke površine) nisu idealno glatke plohe koje razdvajaju dva medija, nego su, gledano u mikroskopskom području, hrapave plohe karakterizirane nizom neravnina, oblika i nepravilnosti. Na slici 10. su prikazana osnovna odstupanja, koja je u praksi teško međusobno razlučiti, jer između pojedinih grupa odstupanja ne postoje oštre granice [11].

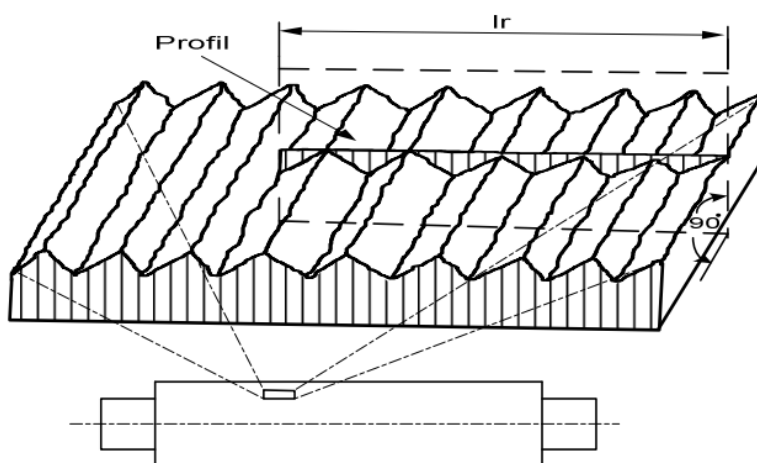


Slika 10. Osnovna odstupanja na površini

Nepravilnosti u površinskim slojevima su posljedica obrade odvajanjem čestica, oblikovanja proizvoda ili rukovanja. Odstupanja od oblika obuhvaćaju odstupanja od zadanog oblika. Greške oblika mogu biti rezultat velikog broja uzroka koji se pojavljuju u proizvodnom procesu kao greške vođenja alata i izratka, nepravilno stezanje izratka, savijanja obratka ili alata. Greške oblika su najčešće uzrokovane zbog smanjene krutosti izratka tijekom strojne obrade kao posljedice savijanja i elastičnosti. Zaostala toplinska ili mikrostrukturna naprezanja također mogu doprinijeti odstupanjima od oblika. Valovitost predstavlja sinusne valove većih valnih duljina na površini u odnosu na geometrijsku površinu.

Rezultat je nesavršenosti alata ili izratka, vibracija, unutrašnjih naprezanja u materijalu i dr. Valovitost je najčešće posljedica karakteristike stroja, npr. nebalansirani brus za brušenje, nepravilnosti kod stezanja alata i općenito posljedica vibracija, nepravilno centriranje obradka na šiljke tokarskog stroja. Po iznosu odstupanja nalazi se između grešaka oblika i hrapavosti površine.

Hrapavost površine se može definirati kao sveukupnost mikrogeometrijskih nepravilnosti na površini predmeta kojemu mnogo puta manje od površine cijelog predmeta, a prouzročene su postupkom obrade ili nekim drugim utjecajima, ali koja ne uključuju valovitost, odstupanje od oblika i površinske greške. Pod pojmom hrapavošću, podrazumijevamo sveukupnost nepravilnosti površine s relativno malim koracima koji obično uključuju nepravilnosti koje su rezultat postupka obrade ili drugih čimbenika. U pravilu, parametre hrapavosti radije smatramo produktom odabrane proizvodne metode nego stroja, odnosno strukture alata ili zareza (uobičajene periodičke prirode) ili na finijoj ljestvici kidanja materijala, kao rezultat ojačane oštice alata ili nepravilnosti vrha alata. Između sve tri grupe odstupanja, odstupanja od oblika, valovitosti i hrapavosti površine, ne može se odrediti stroga granica i u praksi nije uvijek jasno kako to učiniti. Izbor reprezentativnog dijela površine te načina izbora profila, kao i parametara hrapavosti, definiran je ISO normama. S reprezentativnog dijela površine, koja ne smije uključivati površinske greške, uzima se profil površine dobiven presijecanjem površine ravninom okomito na smjer obrade kako je prikazano slikom 11 [12].



Slika 11. Izgled elemenata površine bez grešaka na površini



Razlika između hrapavosti, valovitosti i karakteristika odstupanja od oblika površinske teksture temelji se na valnoj duljini površine. Veliki problem s definicijama je u tome da točka gdje hrapavost prelazi u valovitost (cut-off) je proizvoljna i najčešće povezana s proizvodnim procesima od kojih je površina dobivena ili prema namjeni izratka. Npr. ono što bi se smatralo kao hrapavost na automobilskoj osovini, kod satnog mehanizma bi se smatralo valovitošću ili greškom oblika. Profil površine može biti sastavljen od niza komponenti frekvencija. Komponente visoke frekvencije (kratke valne duljine) sačinjavaju hrapavost, a komponente niske frekvencije (duge valne duljine) valovitost. Filtriranje je proces odbacivanja neželjenih valnih duljina površine. Filtriranje profila površine može biti električno, mehaničko, optičko i li matematičko. Pri tome se odvaja profil hrapavosti od profila valovitosti. Točka gdje filter odvaja duge od kratkih valnih duljina se naziva granična vrijednost filtra ili cut-off. Filter koji odbacuje kratke valne duljine i propušta duge naziva se niskopropusni filter. Filter koji odbacuje duge valne duljine i propušta kratke se naziva visokopropusni filter. Ovisno da li su parametri određeni na primarnom profilu (nefiltrirani profil), na profilu hrapavosti (filtrirani profil u visokopropusnim filtrom) ili na profilu valovitosti (filtrirani profil niskopropusnim filtrom) označavaju se različitim početnim slovima: R - za hrapavost, W - za valovitost. P - za primarni profil[13]

## Parametri hrapavosti

Parametri hrapavosti se mogu podijeliti u sljedeće grupacije:

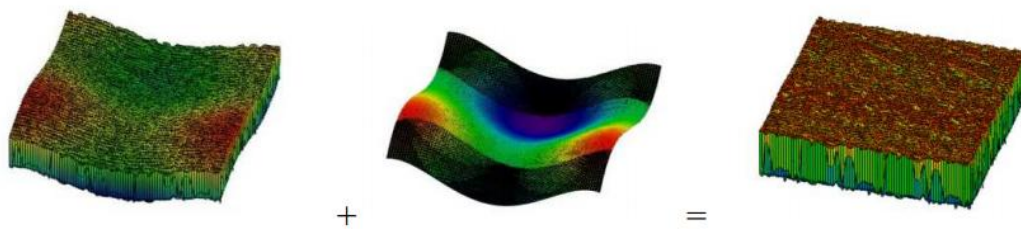
- amplitudni,
- uzdužni,
- hibridni,
- krivuljni i
- srodni.

Amplitudni parametri opisuju varijacije po visini profila, a uzdužni parametri uzduž profila. Hibridni parametri opisuju varijacije iz kombinacije uzdužnih i amplitudnih karakteristika profila, a krivuljni i srodni opisuju varijacije na krivuljama dobivenih iz uzdužnih i amplitudnih karakteristika profila.

## Problem filtracije mjernog signal i mjerenja hrapavosti

U području topografije javljaju se razni oblici odstupanja poput parametara hrapavosti, valovitosti, odstupanja od oblika, makro i mikro pogrešaka. Tehnička površina sadrži minimalno 2 tipa nepravilnosti a najčešće sadrži sve. Ukoliko želimo točnu analizu i promatranje 1 tipa nepravilnosti moramo uvesti filter frekvencija na snimaču površine.

Najrasprostranjeniji tipovi filtera koji se temelje na spektralnoj analizi su zonalni filteri, Gaussovi i Butterworthovi filteri. Idealni zonalni filter ima 100%-tni pad za graničnu vrijednost (cut-off) frekvencija, koji se ne može ostvariti u potpunosti, već može biti samo aproksimiran u praksi. Gaussov i Butterworth filteri imaju postepeni pad prijenosnog područja, a nominalna granična vrijednost cut-off-a odabrana je na točki 50% smanjenja. Rezultate jednog primjera filtriranja prikazuje slika 12.



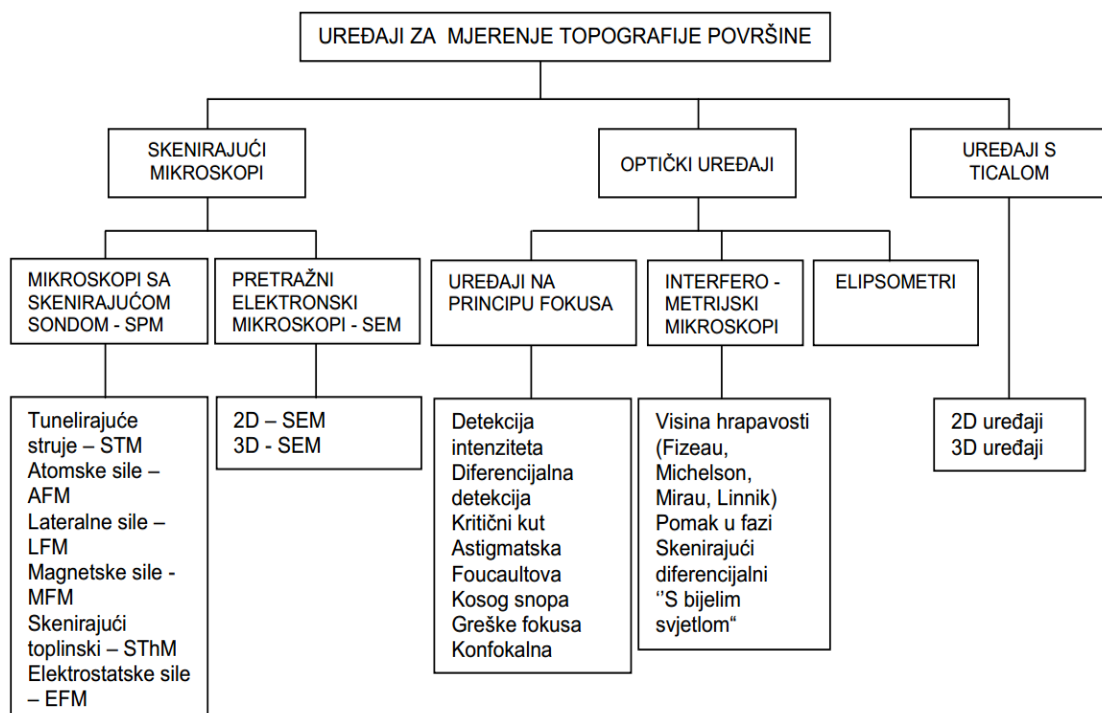
Slika12. Metoda podjele na segmente: (a) snimljena površina, (b) valovitost ( c) hrapavost[14]

## 5.2. Mjerni uređaji

Mjerni instrumenti u području ispitivanja topografije površine različiti su i podjela je zasnovana prema fizikalnim načelima snimanja površine. Tako razlikujemo:

- skenirajući mikroskopi
  - mikroskopi sa skenirajućom sondom
  - pretražni elektronski mikroskopi
- optički uređaji
  - uređaji na principu fokusa
  - interferometrijski mikroskopi
  - elipsometri
- uređaji s ticalom.

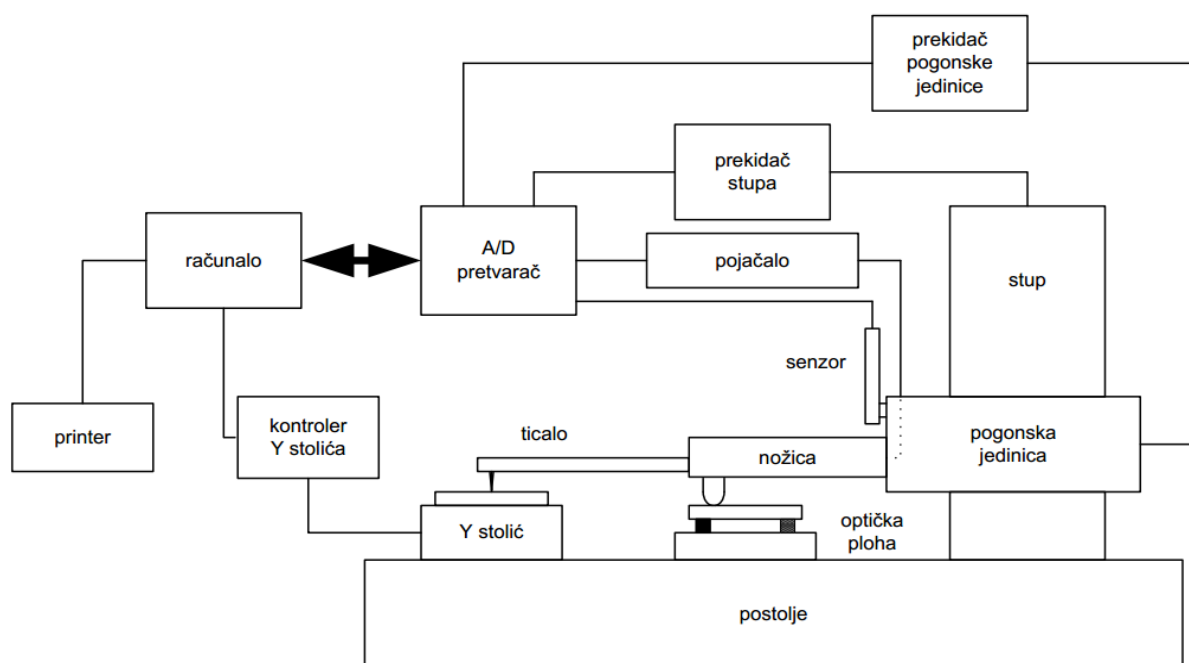
Na slici 13. je prikazana shema podjele uređaja u topografiji površina.



Slika 13. Mjerni uređaji u topografiji površina [15]

## 5.2.4 Uređaji s ticalom

Uređaji s ticalima se najduže koriste za ispitivanje topografije površine. Prvi 3D uređaj s ticalom izumljen je 1960-ih godina, dok su Sayles i Thomas 1976. godine dovršili prvi sustav upravljani računalom. Na slici 14. prikazana je uobičajena konstrukcija uređaja s ticalom. Računalo je upravljački centar koji kontrolira cijeli proces mjerenja. Gibanja u smjeru osi apcise ostvarena su pomoću „step“ motora ili linearnog motora koji se nalazi u pogonskoj jedinici. Mjerna ravnina je ostvarena pomoću odnosa optičke plohe ispod nožice Y stolića. Kako ticalo prelazi površinu ispitivanja, nožica pretvara mehaničko gibanje ticala u analogni signal koji se pojačava u pojačalu. Nakon toga analogni signal se digitalizira u A/D pretvaraču i proslijeđuje do računala. [16]



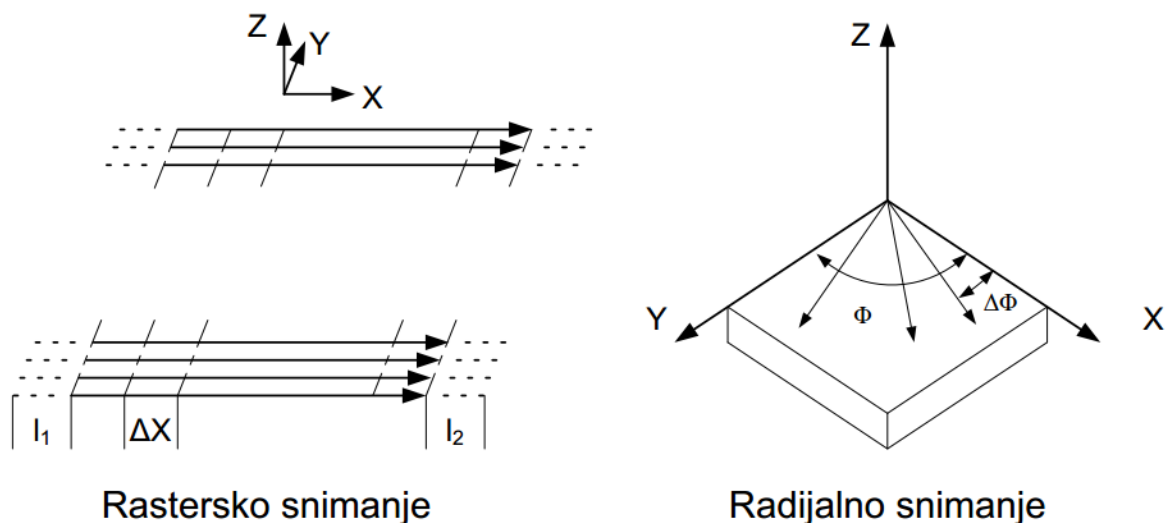
Slika 14. Konstrukcija ticala [17]

Ispitivanje površine vrši se iglom ticala u pravca mjerenja. Vertikalni pomaci igle, koji su proporcionalni neravninama na površini, pretvaraju se u električni signal. Takav signal putuje u upravljačku jedinicu i pretvara se u grafički prikaz na zaslonu. Iz takvog prikaza iščitavaju se razni parametri hrapavosti. Elementi

uređaja s ticalom mogu se, prema funkciji, podijeliti u dvije osnovne grupe:

- sklopovi namijenjeni za vođenje i pretvorbu mehaničkog pomaka igle ticala u električni signal (dobivanje informacija o stanju realnog profila), a sastoje se od ticala i mjerne glave;
- sklopovi namijenjeni za obradu dobivenog električnog signala (obrada dobivene informacije), a sastoje se od pisača i računalne jedinice.

Razlikujemo 2D i 3D uređaje s ticalom. Kod 2D uređaja, ticalo ima vrh malog polumjera koji prelazi preko mjerne površine u jednom smjeru (recimo u smjeru x). Nožica koja je ili LVDT – linearvariable differential transformer ili optički pretvornik pretvara vertikalno gibanje (recimo smjer z) ticala u električni signal. Kod 3D uređaja potrebna je još jedna dimenzija. Na slici 15. prikazane su dvije metode ostvarivanja treće dimenzije [18]. U tablici 2 dati su prednosti i nedostaci svih uređaja koji se koriste u topografiji



Slika 15. Metode 3D mjerenja uređaja s ticalom [19]

Tablica 2. Karakteristike uređaja u topografiji [20]

ZNAČAJKA UREĐAJA	UREĐAJI S TICALOM	OPTIČKI SUSTAVI	SKENIRAJUĆI MIKROSKOPI
Vertikalna rezolucija	visoka	visoka	vrlo visoka
Vertikalni raspon	velik	malen	jako malen
Uzdužna rezolucija	srednja	visoka	vrlo visoka
Uzdužni raspon	velik	srednji	jako malen
Način mjerenja	kontaktno	beskontaktno	beskontaktno
Vrijeme za pripremu uređaja i uzorka	kratko	dosta dugo	dugo
Vrijeme mjerenja	dugo	kratko	kratko
Cijena uređaja	srednja	srednja	visoka
Utjecaj nagiba površine	ne	da	da
Osjetljivost na utjecaj okoline	nije jako osjetljiv	osjetljiv	jako osjetljiv
Utjecaj reflektivnosti površina	ne	da	ne
Ovisnost o provodljivosti površina	ne	da	da
Mogućnost oštećenja površine	lagano	ne	ne

### 5.2.5 Elektroničko-mehanički uređaj s ticalom PerthometerS8P

Slika 16. Prikazuje uređaj s ticalom(lijevo) i ispitni uzorak na čijoj površini se kreće ticalo. Postolje na kojem se vrše mjerenja je od mramora kako bi se eliminirao utjecaj vibracija. Ticalo se nadovezuje na senzor koji šalje pomoću integriranih sustavnih elemenata podatke u računalnu jedinici i na monitoru se prikazuje jedan od izabranih profila hrapavosti. U tablici 3 navedene su karakteristike uređaja PerthometerS8P.



Slika 16. PerthometerS8P

Tablica 3. Mjeriteljske značajke uređaja PerthometerS8P

Proizvođač	Feinprüf Perthen GmbH, Njemačka
Tragovi	od 4 do 128 (8064 točaka po tragu)
Duljina očitavanja, mm	0,56; 1,75; 5,6; 17,5; 56,0
Standardni mjerni putevi, mm	0,4; 1,25; 4,0; 12,5; 40
Granične valne duljine, mm	0,025; 0,08; 0,25; 0,8; 2,5; 8,0
Mjerni opseg, $\mu\text{m}$	$\pm 12,5 \mu\text{m}$ , $\pm 62,5 \mu\text{m}$ , $\pm 125 \mu\text{m}$ , $\pm 625 \mu\text{m}$ , $\pm 2500 \mu\text{m}$
Profili	<i>D</i> – direktni <i>G</i> – ispravljeni <i>P</i> – ispravljen bez početnog i završnog dijela <i>W</i> – valovitost <i>R</i> – hrapavost
Tip filtera	Gaussov filter, RC filter, osni filteri (cut-off kod 75 % i 50 %)

PerthometerS8P umjeren je sukladno DKD-R 4-2: Calibration of Devices and Standards for Roughness Metrology, Calibration of Vertical Measuring System of Stylus Instruments, 2011. Slijedivost rezultata mjerenja ostvarenih na PerthometerS8P osigurana je preko državnih etalona za hrapavost RH (u vlasništvu Nacionalnog laboratorija za duljinu RH). Nacionalni laboratorij za duljinu RH ima objavljene CMC vrijednosti za parametre hrapavosti  $R_a$  i  $R_z$  (mjerenje na PerthometerS8P) u CIPMMRAKCDB. Važno je propisati uvijete mjerenja kako bi dobiveni rezultati bili relevantni i kako bi nio osiguran osiguran sustav slijedivosti rezultata mjerenja.

### 5.2.3. Surface Roughness Tester TR200/210/220 uređaj s ticalom

U ispitivanjima provedenim u radu korišten je uređaj Surface Roughness Tester TR200/210/220 prikazan na slici 17. U tablici 4. navedene su mjeriteljske karakteristike uređaja.





Slika17. Prijenosni uređaj i karakteristične vrste ticala

Tablica 4. Roughness Tester TR200/210/22 mjeriteljske značajke

Proizvođač	Time hightechnologyLTD
Tragovi	od 4 do 128 (8064 točaka po tragu)
Duljina očitavanja, mm	0,56; 1,75; 5,6; 17,5; 56,0
Standardni mjerni putevi, mm	0,4; 1,25; 4,0; 12,5; 40
Granične valne duljine, mm	0.25mm / 0.8mm / 2.5mm/Auto
Mjerni opseg, $\mu\text{m}$	20 $\mu\text{m}$ , 40 $\mu\text{m}$ , 80 $\mu\text{m}$
Profili	<i>D</i> –direktni <i>G</i> –ispravljeni <i>P</i> – ispravljen bez početnog i završnog dijela <i>W</i> –valovitost <i>R</i> –hrapavost
Tip filtera	Gaussov filter, RC filter, osni filteri (cut-off kod 75 % i 50 %)

## **Eksperimentalni dio**

## 6. Plan pokusa i priprema uzoraka

Ispitni uzorci za utvrđivanje utjecaja PACVD prevlačenja na kvalitetu površna obrađeni su u okviru pokusa provedenih na projektu IPALIC „ARISE“. Za materijal podloge izabrana su tri alatna čelika:

- alatni čelik za topli rad X37CrMoV5-1 (oznaka u pokusima „B“)
- alatni čelik za hladni rad proizveden praškastom metalurgijom Böhler K 390 PM (oznaka u pokusima „C“)
- alatni čeli za hladni rad X155CrMoV12-1 (oznaka u pokusima „D“)

Alatni čelici X37CrMoV5-1 i X155CrMoV12-1 proizvedeni su klasičnom sekundarnom metalurgijom pretaljivanjem pod troskom (kvaliteta ESR).

Čelik za topli rad karakteriziran je otpornošću na popuštanje ( mali pad mehaničkih svojstava porastom temperature, otpornost na strukturne promjene povišenjem temperature) i visokom otpornošću na trošenje. Sadrži visok udio Cr, Ni, Mo i W te je prokaljiv i otporan na visokotemperaturnu koroziju. Primjenjuje se za alate za lake metale, kokile, noževe za rad u toplom stanju itd.

Čelik za hladni rad X155CrMoV12-1 primjenjuje se do radnih temperatura oko 500°C i sadrži visok udjel ugljika 0,5-1,3%C i kroma (oko 12%). Najčešće se koristi za štance, žigove, oštrice industrijskih škara za metal i dijelove kalupa za preradu polimera, itd.

Svim navedenim čelicima zajednička je mogućnost primjene visokotemperaturnog popuštanja na temperaturama oko 500°C, koje se može uskladiti s temperaturom PACVD prevlačenja. U pravilu treće visokotemperaturno popuštanje ovih čelika provedeno je u PACVD uređaju tijekom postupka prevlačenja.

Svi ispitni uzorci prije prevlačenja su obrađeni odgovarajućom strojnom obradom (glodanje i brušenje) i uobičajenom toplinskom obradom (tablica 5), kaljenjem u vakuumskoj peći dvostrukim popuštanjem u zaštitnoj atmosferi.

Nakon toplinske obrade uzorci su brušeni na brusilici za metalografsku pripremu gdje je skinut sloj oksida stvoren u fazi popuštanja. Prvo brušenje je provedeno gradacijom brusnog papira P320, a zatim je korišten brusni papir P600 što je bila i završna obrada prije prevlačenja. Nije bilo potrebe za posebnim odmaščivanjem brušenih uzoraka, osim čišćenja površine u etilnom alkoholu.

Plan pokusa navedenih čelika prikazan je u tablici 4. Pri tome su ispitivana slijedeća završna stanja površine:

**0** – ne prevučeno (polazno stanje)

**1** – nitrirano u plazmi bez stvaranja zone spojeva

**2** – prevučeno višeslojnom prevlakom dobivenom nakon nitriranja u plazmi (bez zone spojeva), prevlačenja tankim slojem TiN i potom prevlačenja prevlakom TiCN u debljini 2-3  $\mu\text{m}$

**3** – prevučeno višeslojnom prevlakom dobivenom nakon nitriranja u plazmi (bez zone spojeva), prevlačenja tankim slojem TiN i potom prevlačenja prevlakom TiBN u debljini 2-3  $\mu\text{m}$

Tablica 5 . sadrži podatke o čelicima, oznakama i toplinskoj obradi

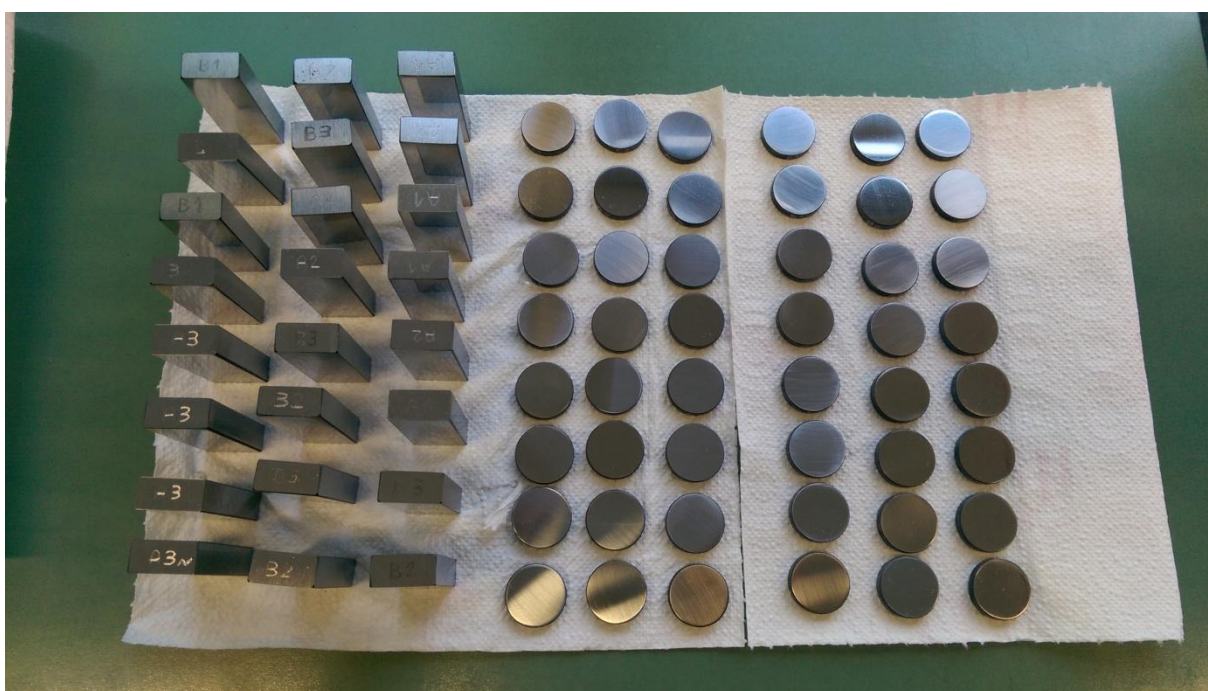
Namjena	Proizvođač/ Oznaka čelika	Oznake čelika prema drugim standardima	Oznaka uzorka	Oznaka stanja	Temp. Aust.	Temp. popuštanja	
Topli rad	Uddeholm Vidar 1 ESR	1.2343 X37CrMoV5-1 H11	B		1010°C	1. 500°C 2. 570°C	
				B0			
				B1			
				B2			
				B3			
Hladni rad	Böhler K 110	1.2379 X155CrMoV12-1 D2	D	D0	1030°C	200°C	
				D1	1070°C	1.520°C 2.540°C	
				D2			
				D3			
	Böhler K 390 PM			C	C0	1180°C	1.500°C 2.540°C
					C1		
					C2		
				C3			

Oznaka čelika	Oznaka površinske obrade
<b>B</b> – Vidar 1 ESR <b>C</b> – K110 <b>D</b> – K390PM	<b>0</b> – nitrirano(osnovna toplinska obrada) stanje <b>1</b> – nitrirano stanje <b>2</b> – TiCN prevlaka <b>3</b> – TiBN prevlaka

Izgled ispitnih uzoraka i segmenata alata koji su istovremeno prevlačeni u postupcima PACVD prikazani su na slikama



Slika 18. Završno čišćenje i odmaščivanje ispitnih uzoraka prije prevlačenja



Slika 19 . Izgled ispitnih uzoraka prije PACVD prevlačenja

## 7. Rezultati ispitivanja topografije površine i diskusija rezultata

### 7.1 Priprema i provedba ispitivanja topografije površine

Ispitivanje hrapavosti površine provedeno je korištenjem uređaja PerthometerS8PMahrGmbH za uzorke oznaka B i D, a uzorci oznake C ispitani su na prijenosnom uređaju SurfaceRoughnessTesterTR200/210/220. Sljedivost rezultata mjerenja osigurana je preko državnog etalona hrapavosti. Na svakom uzorku provedeno je mjerenje na šest profila hrapavosti.

Uvjeti mjerenja ispitivanih uzoraka:

Mjesto mjerenja: Nacionalni laboratorij za duljinu RH

Mjerni uređaj: PerthometerS8P, FeinprüfPerthenGmbH

Gaussov filter,  $\lambda_c = 0,8$  mm

Vođenje nožicom

Radius ticala  $r = 5$   $\mu$ m

Duljina ispitivanja  $l_t = 5,6$  mm

Duljina vrednovanja  $l_n = 4,0$  mm

Mjerna sila  $F=1,3$  mN

Na svim ispitnim uzorcima mjerenja su provedena 6 puta za svako stanje površine zbog bolje preciznosti tj. smanjenja mjerne nesigurnosti rezultata uslijed utjecaja vrste čelika i stanja površine.

Ispitivanje hrapavosti površina provedeno je u skladu sa zahtjevima normama:

- ISO 4287:1997 Geometric Product Specification (GPS) —  
Surface texture: profile method—terms,  
definitions and surface texture parameters
- ISO 4288:1996 Geometric Product Specification (GPS) —  
Surface texture: profile method—rules and procedures for  
the assessment of surface texture
- ISO 3274:1996 Geometrical Product Specifications (GPS) —  
Surface texture: Profile method — Nominal characteristic of contact  
(stylus) instruments

7.2 Parametri hrapavosti  $R_a$  i  $R_z$ 

U Tablici 6. prikazani su rezultati aritmetičkih sredina mjerenih parametara hrapavosti  $R_a$  i  $R_z$ , te vrijednosti i procijenjenih standardnih odstupanja tih parametara za uzorke „B“ i „D“. U tablici 7 prikazani su rezultati ispitivanja hrapavosti za ispitne uzorke oznake „C“. Rezultati ispitivanja parametara hrapavosti iz tablica 6 i 7 također su prikazani u dijagramima na slikama 30 do 36.

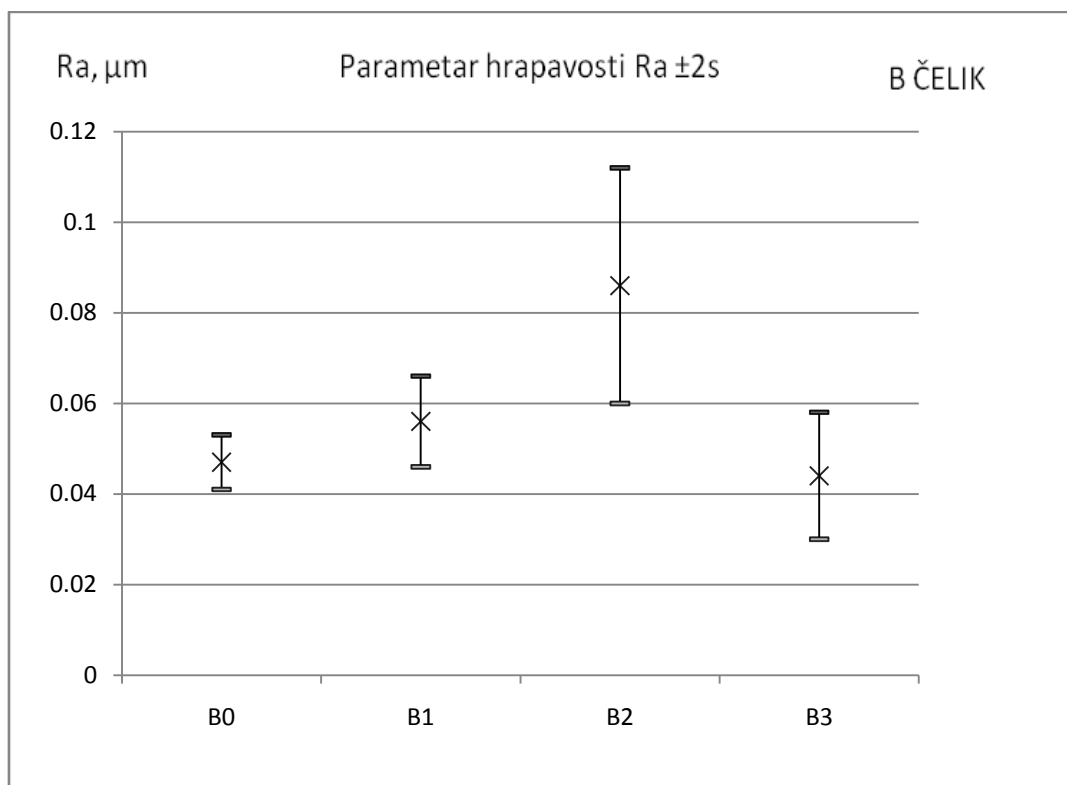
Tablica6. Rezultati mjerenja za uzorke oznaka B, i D na mjernom uređaju PerthometerS8P

Uzorak	$\overline{Ra}$ , $\mu\text{m}$	s, $\mu\text{m}$	$\overline{Rz}$ , $\mu\text{m}$	s, $\mu\text{m}$
B0(neprevučeno )	0,047	0,003	0,528	0,089
B1(nitrirano u plazmi)	0,056	0,005	0,545	0,111
B2 (N+TiN+TiCN)	0,086	0,013	1,222	0,304
B3 (N+TiN+TiBN)	0,044	0,007	0,502	0,105
D0(neprevučeno )	0,063	0,002	0,631	0,032
D1(nitrirano u plazmi)	0,062	0,004	0,562	0,026
D2 (N+TiN+TiCN)	0,064	0,01	0,835	0,157
D3 (N+TiN+TiBN)	0,063	0,008	0,611	0,032

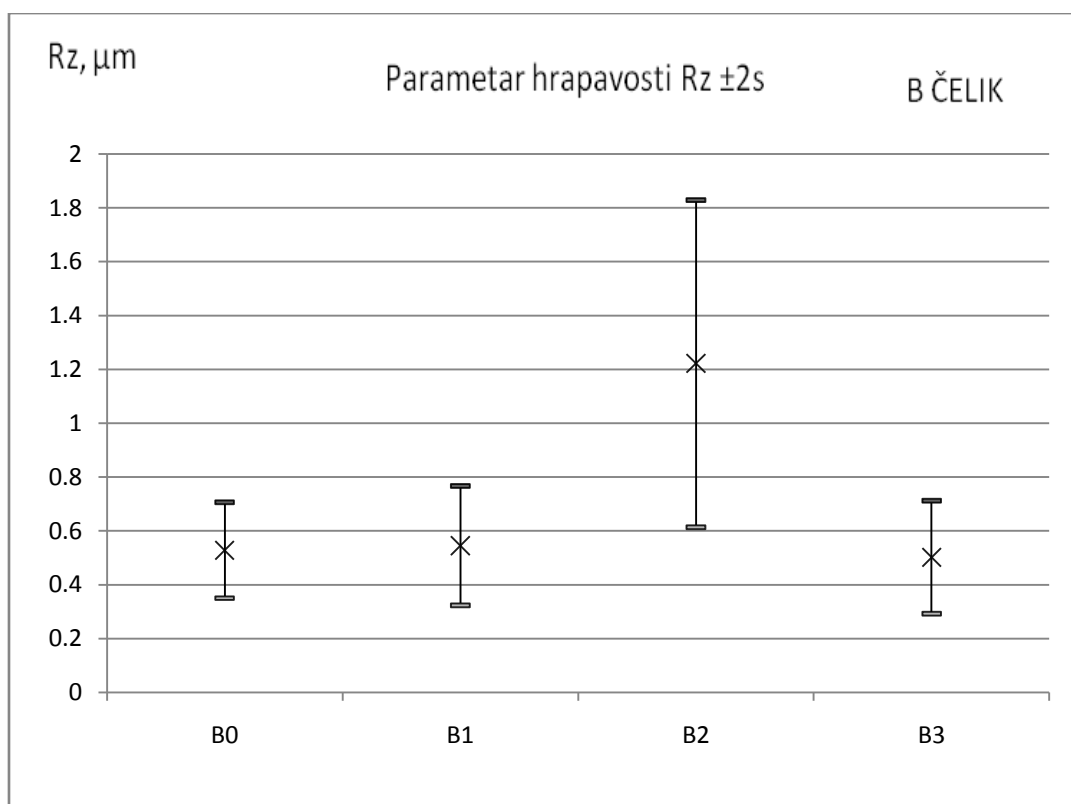
Tablica7 . Rezultati mjerenja za uzorke oznaka C na mjernom uređaju SurfaceRoughnessTesterTR200/210/220

Uzorak	$\overline{Ra}$ , $\mu\text{m}$	s, $\mu\text{m}$	$\overline{Rz}$ , $\mu\text{m}$	s, $\mu\text{m}$
C0(neprevučeno )	0,133833	0,011	0,734333	0,0534
C1(nitrirano u plazmi)	0,0355	0,00263	0,247833	0,0358
C2 (N+TiN+TiCN)	0,035833	0,00146	0,247667	0,0219
C3 (N+TiN+TiBN)	0,048333	0,00335	0,36	0,0254

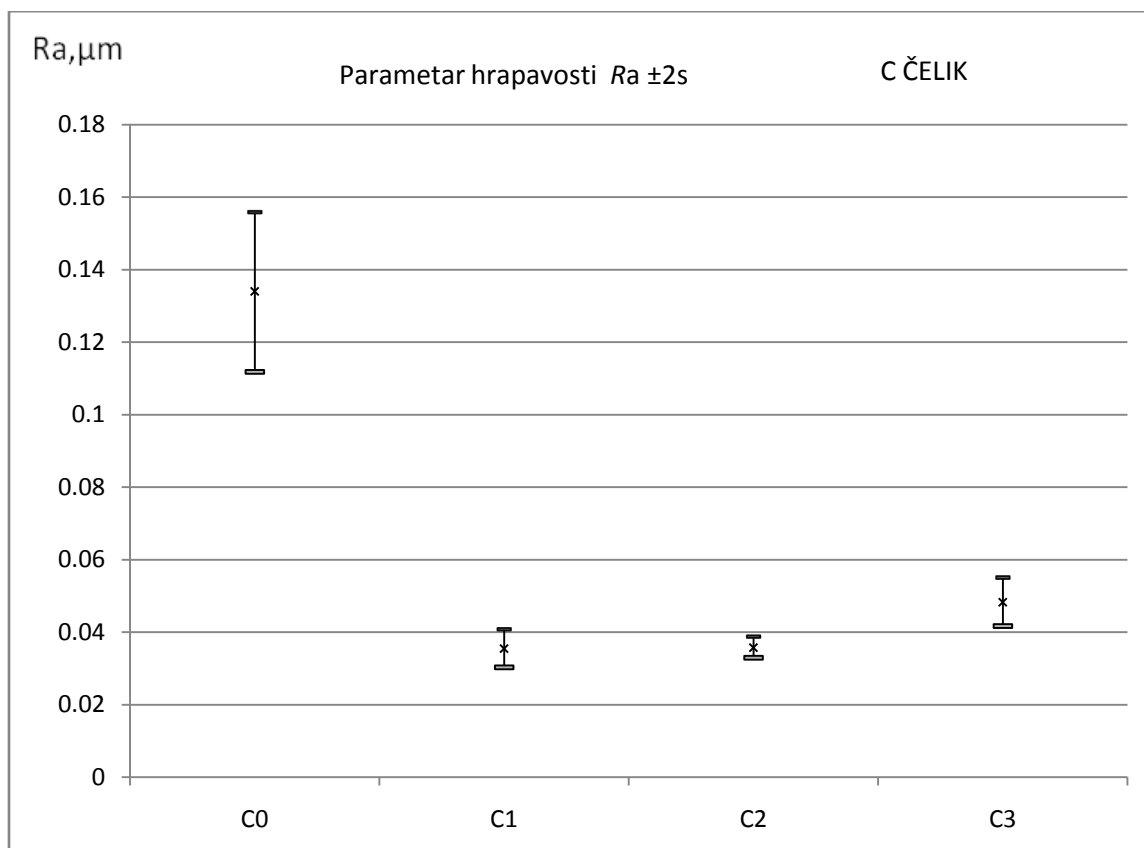




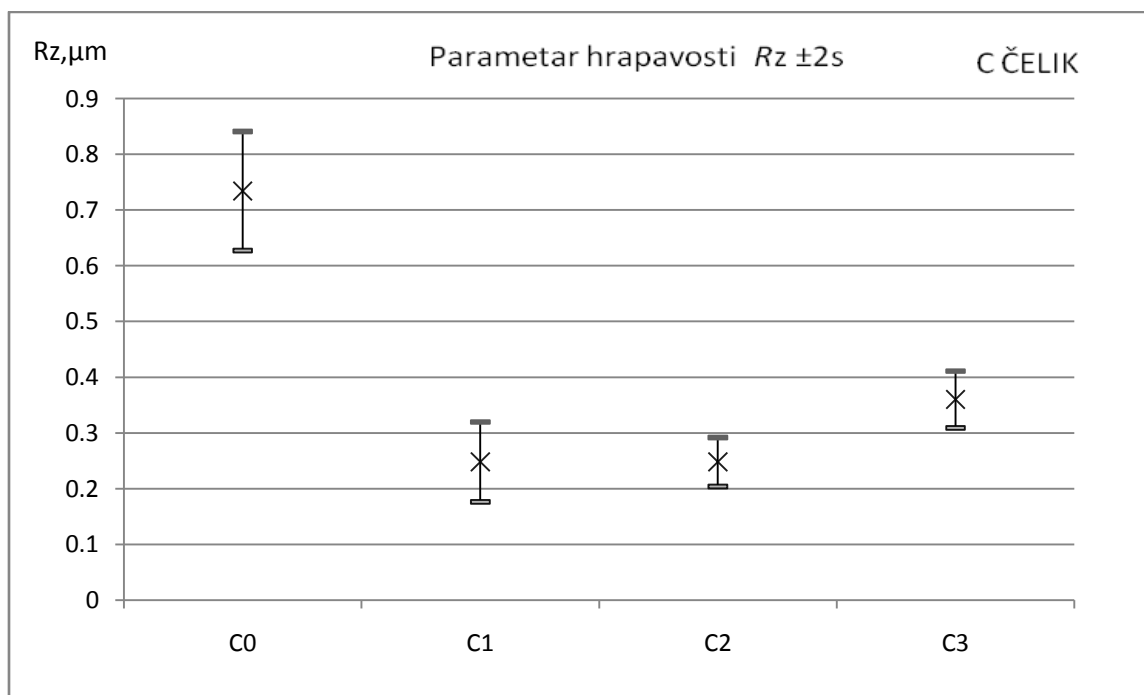
Slika 20. Raspodjela parametra  $R_a$  uz interval povjerenja od 95% na ispitnim uzorcima od čelika Vidar 1 ESR prevučeni postupkom PACVD



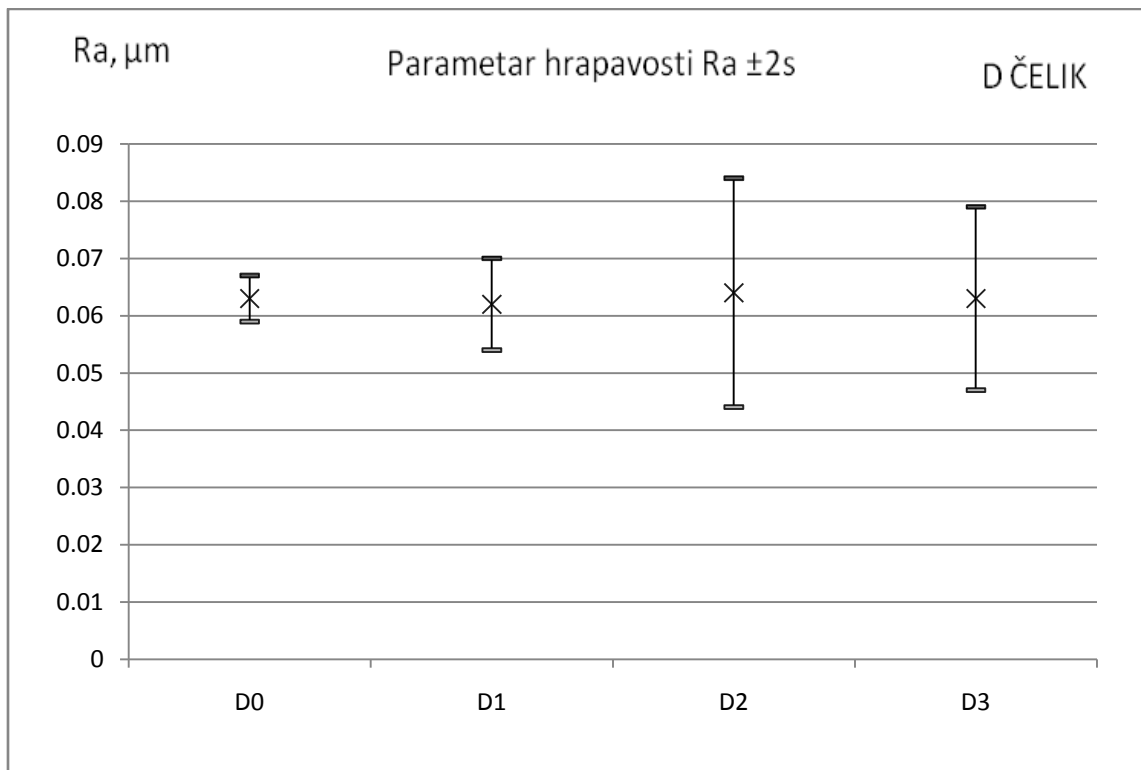
Slika 21. Raspodjela parametra  $R_z$  uz interval povjerenja od 95% na ispitnim uzorcima od čelika Vidar 1 ESR prevučenim postupkom PACVD



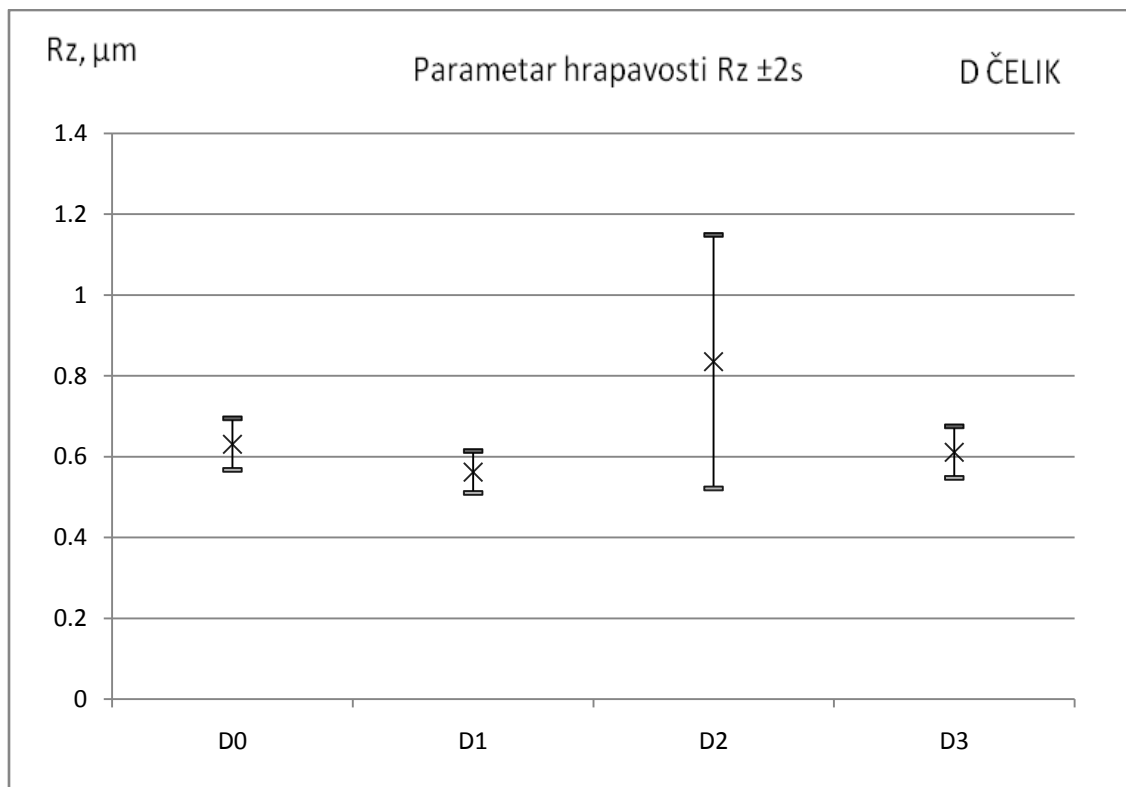
Slika 22. Raspodjela parametra  $R_a$  uz interval povjerenja od 95% na ispitnim uzorcima od čelika K390 PM prevučenim postupkom PACVD



Slika 23. Raspodjela parametra  $R_z$  uz interval povjerenja od 95% na ispitnim uzorcima od čelika K390 PM prevučenim postupkom PACVD



Slika 24. Raspodjela parametra  $R_a$  uz interval povjerenja od 95% na ispitnim uzorcima od čelika K110 prevučenim postupkom PACVD



Slika 25.a Raspodjela parametra  $Ra$  uz interval povjerenja od 95% na ispitnim uzorcima od čelika K110 prevučenim postupkom PACVD

Iz rezultata ispitivanja prikazanim u tablicama 6. i 7. i na slikama 20 do 25. proizlaze slijedeći zaključci:

- Mjereni parametri hrapavosti  $Ra$  i  $Rz$ ne pokazuju značajnu promjenu u stanju hrapavosti površina na uzorcima oznaka 0 i 1.
- Izmjerene vrijednosti parametra hrapavosti  $Ra$  i  $Rz$  na uzorcima oznaka 2 značajno su veće nego je to slučaj s vrijednostima na uzorcima oznaka 0 i 1.
- Na uzorcima oznaka; B0 i D0 utvrđeno je manje rasipanje rezultata mjerenih parametara hrapavosti u odnosu na ostale uzorke.
- Na uzorcima oznaka B2 i D2 utvrđeno je značajno veće rasipanje rezultata mjerenih parametara hrapavosti u odnosu na ostale uzorke.
- Zaključci 2. i 5. odgovaraju utvrđenoj geometriji profila hrapavosti na uzorcima oznake 2 gdje su prisutni izraziti pikovi.
- Izmjerene vrijednosti parametra hrapavosti  $Ra$  i  $Rz$  na uzorcima oznaka 3 značajno su manje u odnosu na uzorke s oznakom 2.
- Na uzorcima oznake B parametri hrapavosti  $Ra$  i  $Rz$  u stanju B1 ne pokazuju značajnije promjene u odnosu na početno stanje 0.

Na uzorcima oznake B2 dolazi do značajnijih povećanja hrapavosti Ra i Rz u odnosu na početno stanje 0 te dolazi do većeg rasipanja rezultata. Uzorci oznake B3 ne pokazuju značajnije odstupanje od početnih parametara Ra i Rz na uzorcima oznake 0.

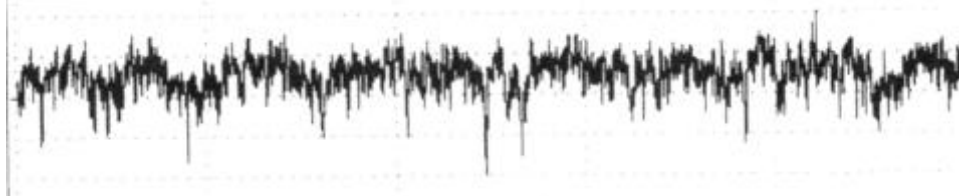


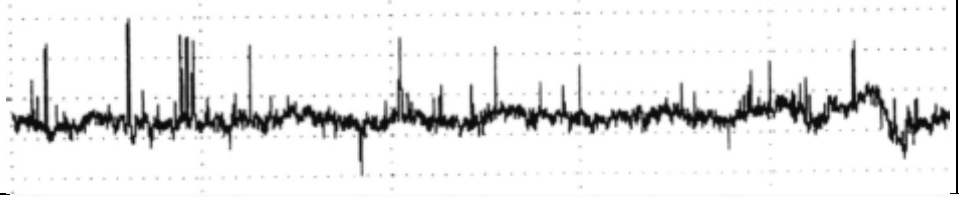
- h) Uzorci oznake C u stanju 1 prema parametrima Ra i Rz pokazuju značajniji pad hrapavosti u odnosu na početno stanje C0. Kod uzoraka u stanju 1,2,3 parametri hrapavosti Ra i Rz ne odstupaju značajnije u odnosu na početno stanje
- i) Uzorci oznake D u stanju površine oznake 1 ne pokazuju značajnije odstupanje u odnosu na stanje 0. Uzorci oznake 2 pokazuju značajnije rasipanje parametara hrapavosti Ra i Rz prema početnom stanju površine oznake 0. Parametar Ra kod oznake 3 ne pokazuje značajnije odstupanje na početno stanje površine nego samo veće rasipanje parametra Ra. Parametar Rz kod oznake stanja površine 3 pokazuje značajniji pad hrapavosti prema početnom stanju površine oznake 0

### 7.3 Profili hrapavosti

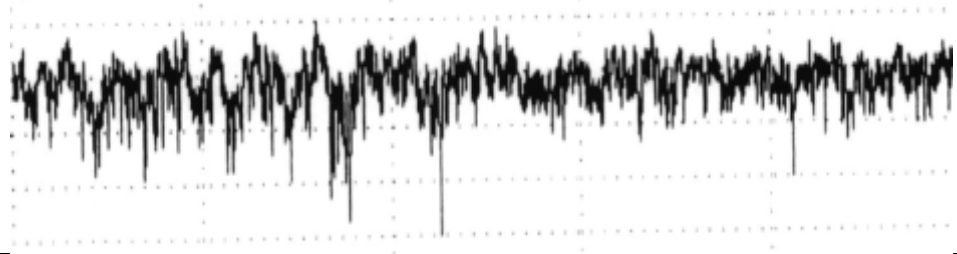
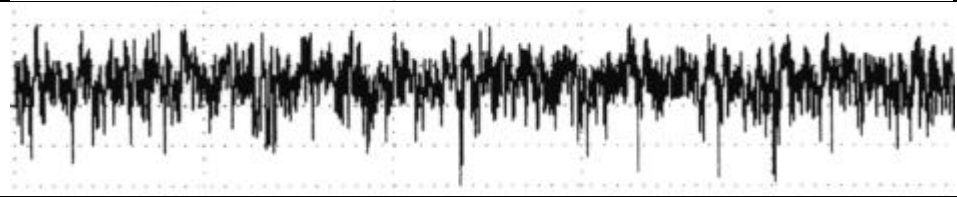
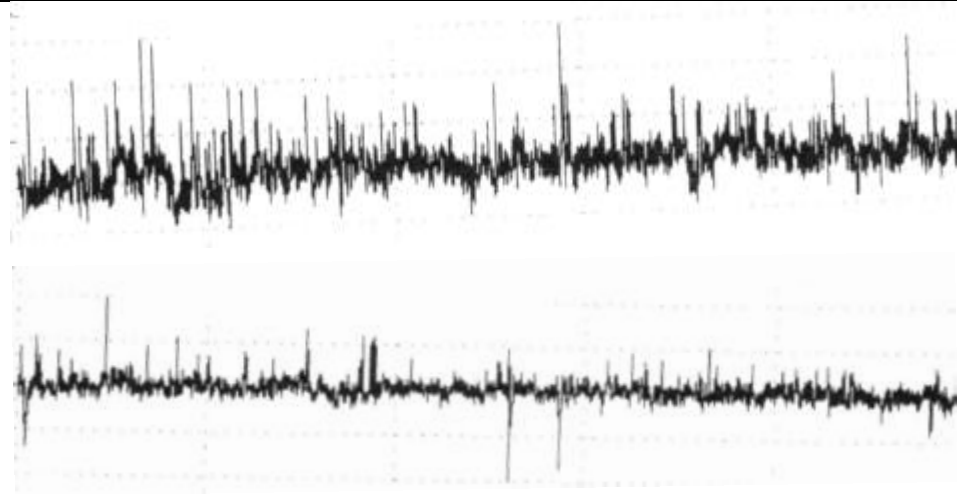
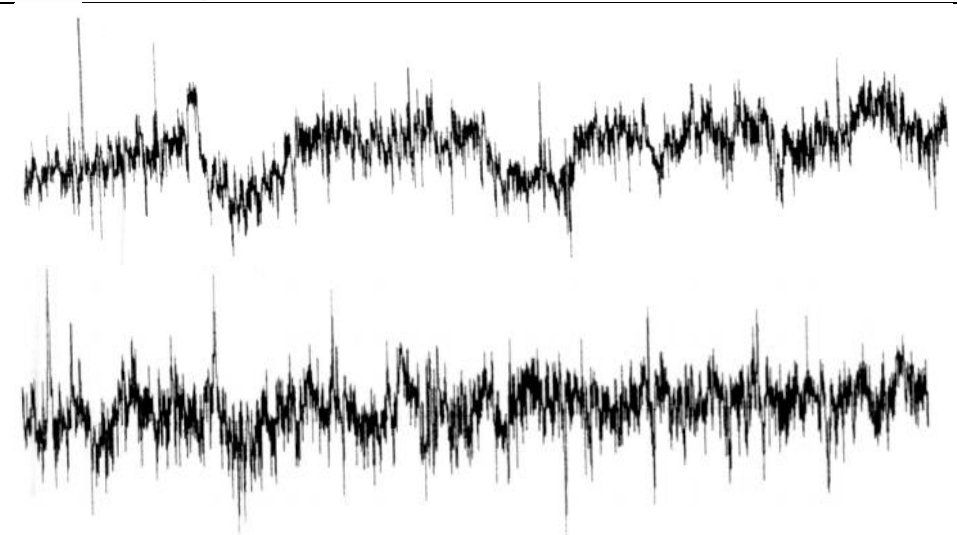
Profili hrapavosti pojedinih ispitnih uzoraka prikazani na slikama od do . Profili na uzorcima početnih oznaka „B“ i „D“ snimljeni su uređajem ... Profili na uzorcima .... Profili hrapavosti snimljeni su po šest puta za svako ispitano stanje površine. Kod nekoliko stanja površine otkrivena su tri karakteristična profila hrapavosti :

- I. ujednačen profil bez izrazitih vrhova i udubina na površini („pikova“)
- II. profil hrapavosti sa izraženim nepravilnostima hrapavosti (izraziti vrhovi i udubine neravnina, risevi i sl.)
- III. profil hrapavosti nastao kombinacijom prethodno navedenih profila

Tablica 8. Prikaz profila hrapavosti čelika oznake B naziva Vidar 1 ESRdobivenih na uređaju Perthometer S8P

Oznaka uzorka	Prikaz profila hrapavosti	Tip profila
<b>B0</b>		III.TIP
<b>B1</b>		I. TIP III.TIP
<b>B2</b>		II.TIP
<b>B3</b>		III.TIP III.TIP

Tablica 9 . Prikaz profila hrapavosti čelika oznake D naziva K 110dobivenih na uređaju Perthometer S8P

Oznaka uzorka	Prikaz profila hrapavosti	Tip profila
D0		III.TIP
D1		I.TIP
D2		II.TIP III.TIP
D3		III.TIP III.TIP



Tablica 10. Prikaz profila hrapavosti čelika oznake Cdobivenina uređajuSurfaceRoughnessTesterTR200/210/220

Oznaka uzorka	Prikaz profila hrapavosti	Tip profila
C0		*
C1		*
C2		*
C3		*

\* zbog drugačijeg prikaza na prijenosnom uređaju SurfaceRoughnessTesterTR200/210/220 i korištenoj manjoj rezoluciji nije moguće sistematizirati profile hrapavosti po kategoriji koja je primjenjena za čelike oznake B ID.

Oznaka A, B i D označava vrste čelika i karakteristične profile hrapavosti na njihovim površinama. U gore navedenim prikazima uočavamo nekoliko različitih tipova profila. Neke vrste čelika imaju jedan, a neke više karakterističnih profila hrapavosti. Tip profila govori o zatečenom stanju površine ispitivanja. Ukoliko profil pokazuje ujednačene amplitude hrapavosti, postupak nanošenja prevlake bio je uspješan jer je jednoliko raspoređen na površini (nema nepravilnosti u rastu sloja, tj. rast je podjednak). Ukoliko postoji mjesto na površini koje značajnije odstupa (pik) od ostalih vrijednosti na profilu, tada govorimo o nepravilnosti uzrokovanom neujednačenim rastom sloja ili vanjskim mehaničkim oštećenjima. U ovim prikazima koristi se interdisciplinarna metodologija koja objedinjuje inženjerstvo površina (uzrok) i topografiju (posljedica).

Tablica 11. prikaz svojstava koji su dani u tablicama 8, 9 i 10.

Oznaka uzorka	0	1	2
Vrsta prevlake			
B	Ujednačena geometrija profila hrapavosti bez pikova	Ujednačena geometrija bez pikova + profil sa pikovima	Profili hrapavosti s pikovima
D	Ujednačena geometrija profila hrapavosti bez pikova	Ujednačena geometrija profila hrapavosti bez pikova	Profili hrapavosti s pikovima

## 8 . Zaključak

Prema rezultatima ispitivanja kvalitete površina izloženih u poglavlju 7. Uočava se značajan utjecaj postupka PACVD prevlačenja na kvalitetu površine, tj. smanjenje ili povećanje vrijednosti parametara hrapavosti. Utjecaj nastanka PACVD prevlake također se može uočiti na profilima hrapavosti .

Ispitni uzorci koji su bili samo nitrirani u plazmi ne pokazuju značajnija odstupanja parametara hrapavosti od početnog stanje površine.

Prevlake TiBN pokazuje ujednačene vrijednosti parametara hrapavosti  $R_a$  i  $R_z$  i manje nepravilnosti(izrazitih vrhova i udubina) u profilima hrapavosti u odnosu na višeslojne prevlake TiCN. Iz toga se može zaključiti da je kod prevlaka TiBN postignuta dobra prionjivost podlogu.

Prevlaka TiCN pokazuje značajno rasipanje parametara hrapavosti  $R_a$  i  $R_z$ .

Regulacija procesa nitriranja i prevlačenja uz optimizaciju parametara postupka (temperature, tlaka i protoka plinova u retorti) PACVD uređaja značajno utječe na mikrostrukturu slojeva i topografiju površine. Rezultati parametara hrapavosti  $R_a$  i  $R_z$  ogleđ su ponajprije pripreme površine. Priprema površine ispitnih uzoraka ključan je čimbenik u osiguranju kvalitete površinskog sloja PACVD prevlaka.

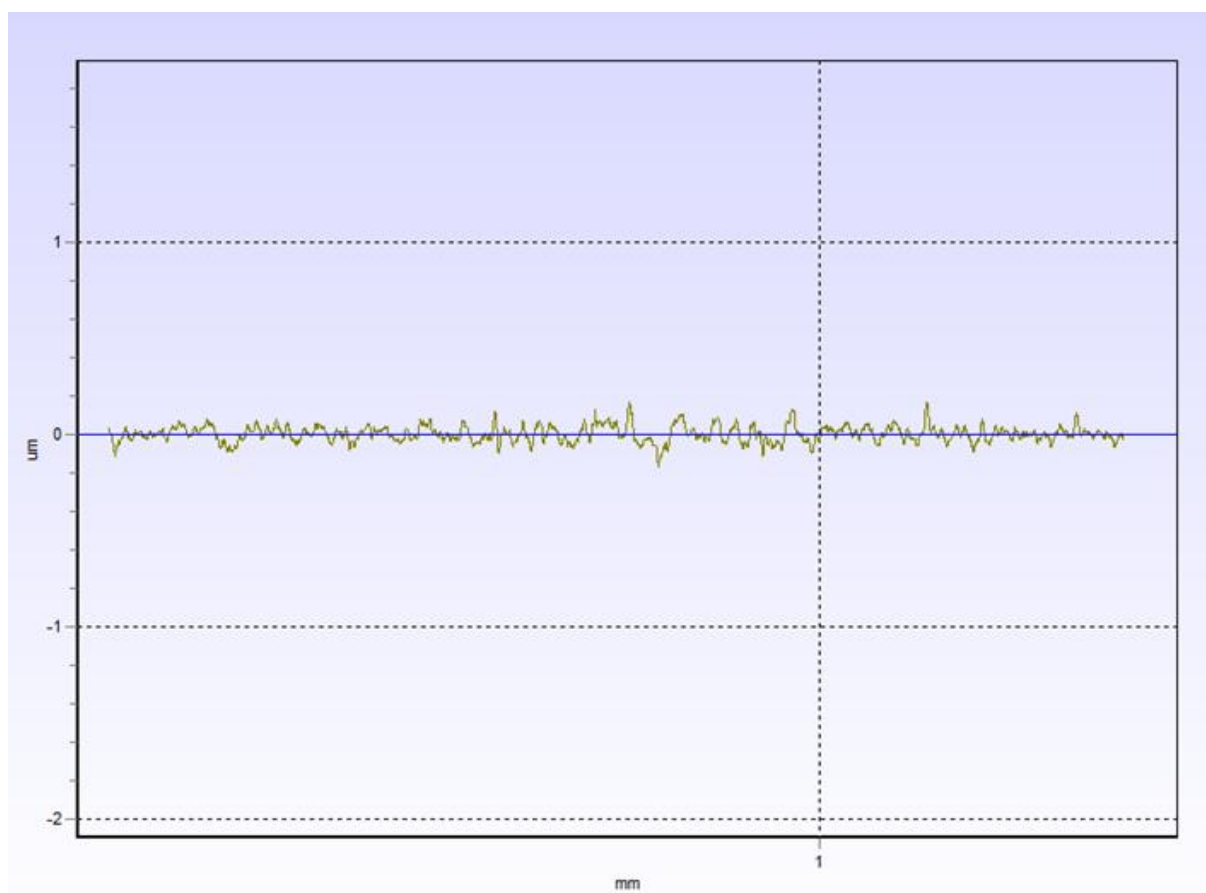
## 9. Popis literature

- [1] Filetin, T.: *Suvremeni materijali i postupci*, Hrvatsko društvo za materijale i tribologiju, Zagreb, 2005.
- [2] Ivušić, V.: *Tribologija*, Hrvatsko društvo za materijale i tribologiju, Zagreb, 1998.
- [3] [www.arise.com.hr/](http://www.arise.com.hr/)
- [4] [www.bosch-do-it.com/hr/hr/.../znanje/.../pravilno-poliranje-98706.jsp](http://www.bosch-do-it.com/hr/hr/.../znanje/.../pravilno-poliranje-98706.jsp)
- [5] RÜBIG® PLASTIT® PLANTS: INNOVATIVE SOLUTIONS FOR PACVD
- [6] [www.rubig.com](http://www.rubig.com) › Home › Engineering › Products
- [7] [www.hauzertechnocoating.com/...coating.../pacvd-c](http://www.hauzertechnocoating.com/...coating.../pacvd-c)
- [8] [www.rubig.com](http://www.rubig.com) › Home › Engineering › Products
- [9] V. Mudronja and all: CALIBRATION OF THE VERTICAL MEASURING SYSTEM OF STYLUS INSTRUMENT PERTHOMETER S8P
- [10] <http://e-ucenje.fsb.hr/course/view.php?id=856>
- [11] <http://e-ucenje.fsb.hr/course/view.php?id=856>
- [12] <http://e-ucenje.fsb.hr/course/view.php?id=856>
- [13] Doktorska disertacija G. Bršić: *Razvoj etalona hrapavosti za nanomjeriteljstvo*, Zagreb, 2011.
- [14] [www.korozija.hr/proizvodi2.aspx?id=308](http://www.korozija.hr/proizvodi2.aspx?id=308)
- [15] Doktorska disertacija G. Bršić: *Razvoj etalona hrapavosti za nanomjeriteljstvo*, Zagreb, 2011.
- [16] Doktorska disertacija G. Bršić: *Razvoj etalona hrapavosti za nanomjeriteljstvo*, Zagreb, 2011.
- [17] [www.fsb.unizg.hr/atlantis/upload/.../190109082602\\_Sanjina\\_Mahovic.p](http://www.fsb.unizg.hr/atlantis/upload/.../190109082602_Sanjina_Mahovic.p)
- [18] [www.fsb.unizg.hr/elemstroj/pdf/.../hrapavost\\_tehnickih\\_povrsina.pdf](http://www.fsb.unizg.hr/elemstroj/pdf/.../hrapavost_tehnickih_povrsina.pdf)
- [19] [www.hauzertechnocoating.com/...coating.../pacvd-c](http://www.hauzertechnocoating.com/...coating.../pacvd-c)
- [20] [www.hef.fr/vacuum-deposition-pvd-pacvd-en](http://www.hef.fr/vacuum-deposition-pvd-pacvd-en)

## Prilog 1. Sveukupni rezultati uzoraka C oznake

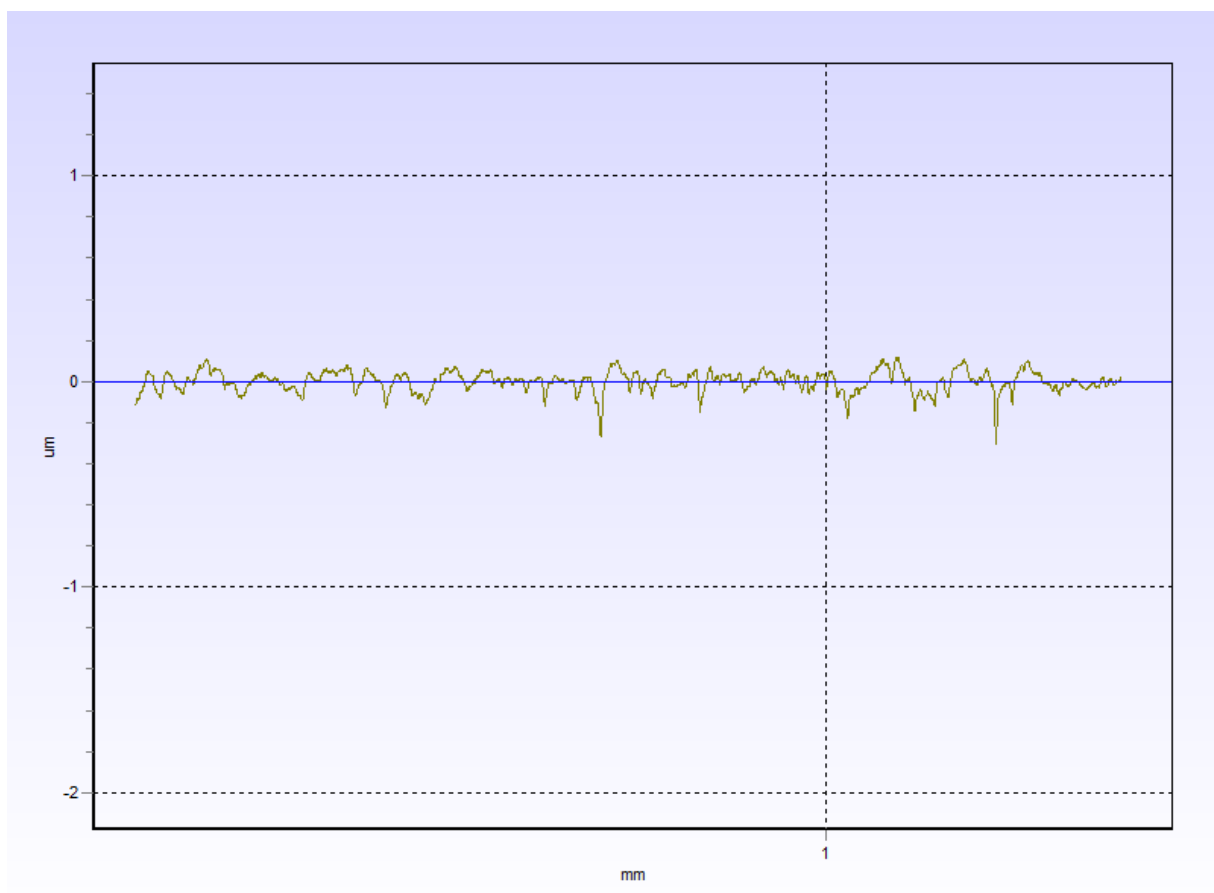
Uzorak: CO Datum mjerenja: 10.2.2015.								
	1	2	3	4	5	6	srednja vrijednost	standardna devijacija
Ra	0,123	0,154	0,127	0,122	0,137	0,14	0,133833	0,011
Rv	0,511	0,466	0,531	0,429	0,498	0,312	0,457833	0,073
Rp	0,234	0,261	0,232	0,191	0,283	0,257	0,243	0,0289
Rz	0,746	0,728	0,763	0,621	0,781	0,767	0,734333	0,0534
Rsk	-1,707	-1,349	-1,345	-1,341	-1,009	-1,351	-1,35033	0,202

Slika39 . Prikaz profila hrapavosti



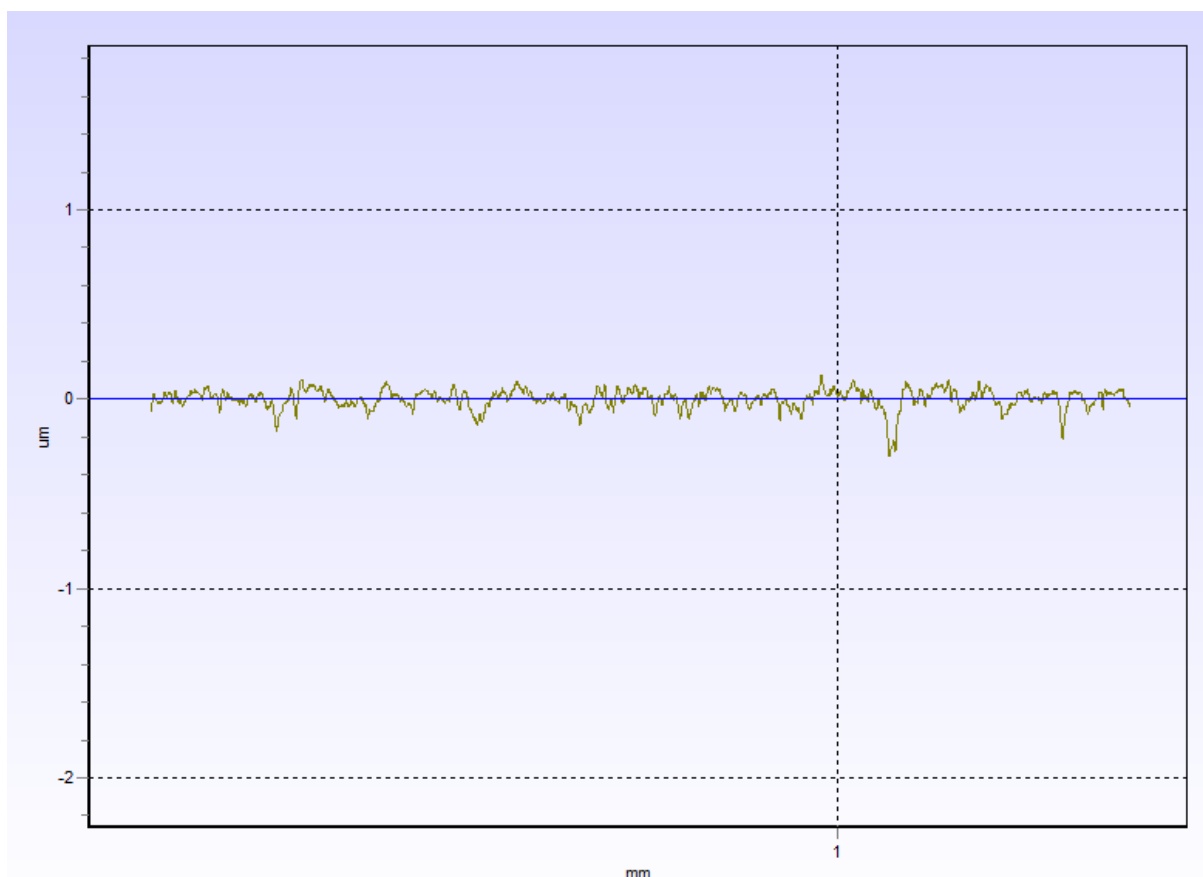
Tablica9.Prikaz rezultata mjerenja

Uzorak: C1								
Datum mjerenja: 10.02.2015.								
	1	2	3	4	5	6	srednja vrijednost	standardna devijacija
Ra	0,032	0,035	0,037	0,04	0,033	0,036	0,0355	0,00263
Rv	0,167	0,185	0,201	0,187	0,109	0,15	0,1665	0,030
Rp	0,07	0,072	0,093	0,089	0,072	0,089	0,080833	0,00962
Rz	0,238	0,257	0,294	0,277	0,181	0,24	0,247833	0,0358
Rsk	-1,51	-1,894	-1,237	-1,198	-1,641	-0,967	-1,40783	0,308



Tablica10.Prikaz rezultata mjerenja

Uzorak: C2								
Datum mjerenja: 10.02.2015.								
	1	2	3	4	5	6	srednja vrijednost	standardna devijacija
Ra	0,034	0,034	0,036	0,036	0,037	0,038	0,035833	0,00146
Rv	0,16	0,142	0,154	0,121	0,156	0,187	0,153333	0,02
Rp	0,083	0,093	0,093	0,095	0,097	0,101	0,093667	0,0055
Rz	0,244	0,236	0,248	0,216	0,253	0,289	0,247667	0,0219
Rsk	-0,62	-0,146	-0,534	-0,185	-0,435	-1,237	-0,52617	0,361



Tablica11.Prikaz rezultata mjerenja

Uzorak: C3								
Datum mjerenja: 10.02.2015.								
	1	2	3	4	5	6	srednja vrijednost	standardna devijacija
Ra	0,048	0,047	0,047	0,055	0,049	0,044	0,048333	0,00335
Rv	0,232	0,179	0,285	0,236	0,201	0,166	0,2165	0,0398
Rp	0,162	0,171	0,097	0,138	0,125	0,166	0,143167	0,0263
Rz	0,394	0,351	0,382	0,375	0,326	0,332	0,36	0,0254
Rsk	-1,867	-1,929	-3,728	-1,357	-1,205	-2,035	-2,02017	0,822

