

UTJECAJ NANOŠENJA PVD PREVLAKA NA PROMJENU POVRŠINSKE HRAPAVOSTI KOD KONSTRUKCIJSKIH ČELIKA

THE INFLUENCE THE DEPOSITION OF PVD COATINGS ON THE MODIFICATION OF SURFACE ROUGHNESS IN STRUCTURAL STEELS

Stjepan Golubić, Ivica Kladarić,

Visoka tehnička škola u Bjelovaru,
Strojarski fakultet u Slavonskom Brodu,

Ključne riječi: Hrapavost, PVD prevlake, čelici, normalizirano stanje

Key words: Roughness, PVD coatings, steels, normalized condition

Sažetak:

U radu je prikazan utjecaj PVD (*Physical Vapour Deposition*) prevlake TiCN+DLC na promjenu hrapavosti konstrukcijskih čelika. Razmatran je utjecaj PVD prevlake na četiri različite početne hrapavosti površine na tri različita konstrukcijska čelika u normaliziranom stanju. Mjerenja pokazuju da se kod konstrukcijskih čelika površinska hrapavost povećava nakon prevlačenja PVD prevlakom i da promjena hrapavosti ovisi o početnoj hrapavosti površine, dok kvaliteta čelika nije imala značajan utjecaj.

Abstract:

This paper presents the influence of PVD (*Physical Vapour Deposition*) TiCN+DCL coatings on the modification of roughness in structural steels. The influence of PVD coatings is considered with regard to four different initial surface roughness grades and three different structural steels in normalized condition. Measurements show that surface roughness in structural steels increases upon depositing a PVD coating, as well as that the roughness modification depends on the initial surface roughness, while the quality of steel had no significant influence.

1. UVOD

PVD (eng., *PVD – Physical Vapour Deposition*) je tzv. fizikalni postupak nanošenja prevlaka iz parne faze. To znači da se deponirani materijal, dobiven na fizikalni način, iz čvrste faze (naparavanjem ili naprašivanjem) prenosi u parnu fazu, od izvora kroz vakuum ili plazmu na osnovni materijal, gdje se naknadno parna faza kondenzira u obliku tankog filma. [3]. Ovim postupkom mogu se postići prevlake praktički od svih elemenata, a temperatura osnovnog materijala može se kod provođenja postupka držati toliko niskom da materijal prevučen PVD slojem ne traži naknadnu toplinsku obradu. Prevlake mogu biti jednoslojne ili višeslojne, odnosno jednokomponentne ili višekomponentne. Primjenom ove vrste prevlaka povećava se otpornost na trošenje, poboljšava se kemijska postojanost u agresivnim uvjetima primjene, smanjuje se faktor trenja, povećava toplinska otpornost i poboljšava izgled proizvoda (dekorativnost). Prevlačenje alata PVD prevlakama za tribološke primjene poznato je od početka 1980-ih godina. Prevlake tvrdih spojeva smanjuju trošenje na osnovi sniženja abrazije i adhezije. U načelu moguće je prevlačiti sve materijale pri nekoj optimalnoj temperaturi. Uz sve čelike mogu se prevlačiti tvrdi metali i cermeti, kao i neželjezne legure. Kod prevlačenja čelika treba znati da se za vrijeme prevlačenja ne smije prekoračiti ranije odabrana temperatura popuštanja [1]. Najčešća primjena PVD prevlaka je kod dijelova gdje drugi postupci toplinske obrade nisu dali zadovoljavajuće rezultate. PVD postupci mogu se kombinirati s drugim postupcima toplinske obrade. Struktura

površine, u koju je uključena i hrapavost jedan je od faktora koji utječe na svojstva PVD prevlaka. Površinska hrapavost površine treba biti uskladena s funkcijom površine, odnosno primjenom strojnog dijela. PVD prevlake mogu kod različitih materijala različito utjecati na promjenu hrapavosti površine. U radu je prikazan utjecaj dvoslojne PVD prevlake, titan-karbonitrid u kombinaciji s prevlakom od ugljika sličnog dijamantu (TiCN+DLC) na promjenu hrapavosti. Hrapavost površine uspoređivana je preko srednje visine neravnina R_a .

2. IZBOR OSNOVNOG MATERIJALA

Čelici za poboljšanje primjenjuju se u poboljšanom i u normaliziranom stanju. Glavni prigovor svojstvima čelika za poboljšanje je nedovoljna otpornost na trošenje [6]. Ovaj se prigovor može otkloniti primjenom površinskih obrada materijala (inženjerstvo površina). PVD postupci provode se na temperaturama koje su niže od temperatura popuštanja čelika za poboljšanje, što je povoljno s obzirom na utjecaj zaostalih naprezanja na deformacije proizvoda. Ugljični čelici za poboljšanje primjenjuju se za izradu dijelova manjih, a legirani za izradu dijelova većih dimenzija. Čelik 45S20 (Č1590) izabran je zbog toga što se primjenjuje za izradu dijelova manjih dimenzija, na automatima, odnosno visokoproduktivnim strojevima. Čelik C45E (Č1531) izabran je kao predstavnik ugljičnih čelika za poboljšavanje, a čelik 42CrMo4 (Č4732) kao predstavnik legiranih čelika za poboljšavanje. Svi materijali toplinski su obrađeni normalizacijskim žarenjem i to: zagrijavanje na temperaturu od 840 °C, držanje dva sata i hlađenje u peći. U tablici 1. prikazan je kemijski sastav izabranih konstrukcijskih čelika za poboljšanje.

Tablica 1. Kemijski sastav izabranih čelika [2,4]

Oznaka materijala	Maseni udio %						
	C	Si	Mn	P (maks)	S	Cr	Mo
45S20 (Č1590)	0,42-0,51	0,2-0,35	0,70-0,90	0,08	0,18-0,22	-	-
C45E (Č1531)	0,42-0,5	0,15-0,35	0,50-0,80	0,035	<0,035	-	-
42CrMo4 (Č4732)	0,38-0,45	0,15-0,40	0,50-0,80	0,035	<0,035	0,90-1,20	0,15-0,30

Tablica 2. prikazuje osnovna mehanička svojstva izabranih čelika, za različite promjere materijala. Za mehanička svojstva u normaliziranom stanju dane su prosječne vrijednosti za čvrstoću i granicu tečenja.

Tablica 2. Osnovna mehanička svojstva izabranih čelika [2,4,6]

Oznaka materijala	Poboljšano stanje				Normalizirano stanje	
	do 16 mm promjera		16 - 40 mm promjera			
	$R_{p0,2}$	R_m	$R_{p0,2}$	R_m	$R_{p0,2}$	R_m
	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²
45S20 (Č1590)	360...480	600...900	380	610..810	320-340	600
C45E (Č1531)	min 480	700...840	min410	660..810	275-340	580
42CrMo4 (Č4732)	min 885	1080..1270	min765	980..1180		

3. IZBOR PVD PREVLAKE

Velika primjena PVD postupaka posljedica je brojnih prednosti [3], od kojih su važne i sljedeće:

prevlake se mogu koristiti za lako nanošenje različitih kvaliteta depozicije, za višekomponentne i višeslojne prevlake;

relativno niska temperatura površine na koju se nanosi prevlaka (100-550 °C)

prevlake su glatke i daju manje trenje;

dobivene prevlake daju tlačna naprezanja na površini, što potpomaže veću otpornost na nastajanje i širenje pukotina;

prevlake se jednolično nanose i na oštре bridove;

višeslojnost PVD prevlaka TiN/TiCN i TiN/TiAlN sinergijski djeluje za pojedinačne slojeve;

dijelovi kompleksne geometrije mogu se jednolično obraditi, a kemijski sastav materijala koji se prekriva obično bitno ne utječe na prevlaku;

značajke dobivenih filmova (tvrdoca, sastav, faktor trenja) mogu se optimizirati s obzirom na zahtjeve u uporabi;

prevlake se mogu nanositi u sve tri dimenzije;

proces se može automatizirati;

debljina prevlake može biti od reda veličine 10^{-10} m do nekoliko μm , a prevlake debljine 10-15 μm koriste se za što veću otpornost na trošenje;

PVD procesi su čisti.

Bitne prepostavke za dobivanje tankih slojeva PVD postupcima su i dovoljno dobra prionljivost između sloja prevlake i osnovnog materijala te kompaktna morfologija sloja (kompleksi fini kristalni stupnjeviti rast kristala u slojevima). Zato je nužna dobra priprema (čišćenje) osnovnog materijala (višestruko uranjanje u odgovarajuće vodene otopine te brzo sušenje na topлом zraku, odmašćivanje, uklanjanje oksidne kožice bombardiranjem osnovnog materijala Ar^+ ionima) te optimalna temperatura osnovnog materijala prije početka i tijekom nanošenja prevlaka [3]. Bitna pozitivna značajka svih PVD postupaka je da nema neke najniže temperature odvijanja procesa, nego je optimalna temperatura osnovnog materijala ista kao i maksimalna temperatura kod koje se ne mijenjaju svojstva čvrstoće osnovnog materijala [3]. Za prevlačenje odabranih konstrukcijskih čelika izabrana je titan karbonitridna prevlaka (TiCN) u prvom sloju, a za drugi sloj izabrana je prevlaka od ugljika sličnog dijamantu (DLC). Prvi sloj nanešen je s ciljem povećanja površinske tvrdoće, a drugi sloj nanešen je s ciljem smanjenja faktora trenja. Tvrdoća TiCN prevlake je 2800 do 3200 HV, a tvrdoća sloja DLC prevlake iznosi oko 1000 HV [1]. Glavna prednost DLC prevlaka je nizak faktor trenja, i to je razlog primjene ove prevlake kod tribološki visokozahtjevnih strojnih elemenata. Nedostatak DLC prevlaka manjkava je otpornost na oksidaciju, zbog čega pri temperaturama višim od 250°C dolazi do brzog oštećivanja sloja [1], što za izabrane materijale nije od posebnog značaja jer se najčešće upotrebljavaju na temperaturama koje su niže od navedene. Prevlaka TiCN odabrana je i zbog toga što ima dobru adheziju na podlogu [7].

4. IZBOR POČETNE HRAPAVOSTI

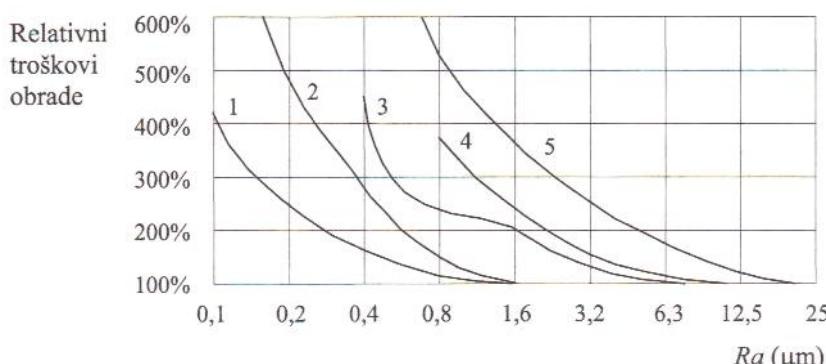
Početna hrapavost izabrana je u skladu s hrapavostima koje se određuju kod postupaka strojne obrade. Uzorci dimenzija $10 \times 10 \times 55$ mm obrađeni su nakon toplinske obrade na četiri različite površinske hrapavosti. Odabrane klase hrapavosti postižu se uobičajenim postupcima obrade metala odvajanjem čestica. Kod izbora površinske hrapavosti potrebno je uzeti u obzir da se sa smanjenjem hrapavosti bitno povećavaju troškovi obrade, a gruba (hrapava) površina može izazvati sljedeće posljedice [5]:

smanjenje dinamičke čvrstoće,

jače trenje i habanje tribološki (tarno) opterećenih površina (ležaja, dodirnih brtvi itd.),

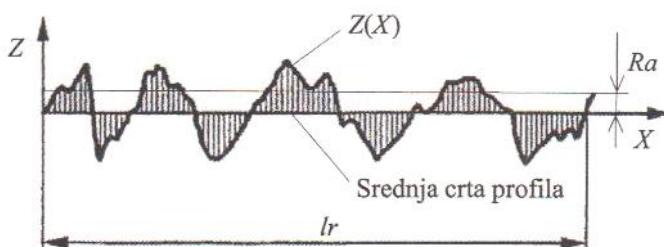
smanjenje prijeklopa između osovina i glavine kod čvrstih dosjeda što smanjuje nosivost steznog spoja i

ubrzavanje korozije.



Slika 1. Ovisnost troškova obrade o hrapavosti površine (Ra = srednje aritmetičko odstupanje profila hrapavosti): 1 - brušenje ravnih površina, 2 - brušenje cilindričnih površina, 3 - tokarenje, 4 - blanjanje, 5 – glodanje [5]

Izabrani materijali primjenjuju se za izradu dijelova različitih dimenzija, s različitim zahtjevima prema kvaliteti površinske hrapavosti. Mjerenje promjene hrapavosti provedeno je na uzorcima s početnim hrapavostima klase N3 ($Ra \leq 0,1 \mu\text{m}$), N4 ($Ra \leq 0,2 \mu\text{m}$), N5 ($Ra \leq 0,4 \mu\text{m}$) i N6 ($Ra \leq 0,8 \mu\text{m}$). Srednje aritmetičko odstupanje profila hrapavosti Ra jedan je od najvažnijih parametara kada se uspoređuju hrapavosti površina obrađenih različitim postupcima strojne obrade.



Slika 2. Srednja crta profila i srednje aritmetičko odstupanje profila hrapavosti Ra [5]

Srednje aritmetičko odstupanje profila hrapavosti Ra srednja je aritmetička absolutna vrijednost odstupanja svih točaka profila od srednje crte u granicama referentne duljine lr :

$$Ra = \frac{1}{lr} \int_0^{lr} |Z(X)| dX \approx \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |Z_i|, \quad (1)$$

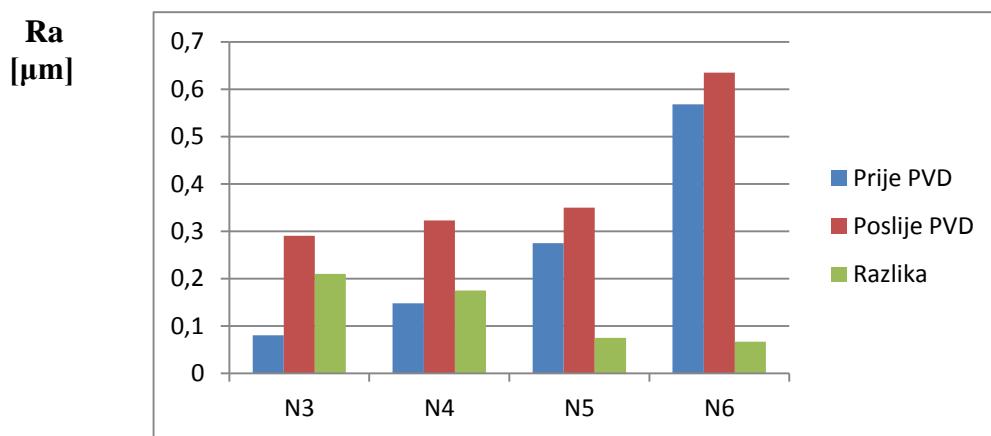
gdje je n ukupan broj mjerjenih odstupanja unutar referentne duljine, a Z_i pojedinačno odstupanje točke profila hrapavosti od srednje crte (slika 2) [5].

Izabrane hrapavosti moguće je postići većim brojem postupaka obrade, a primjenjuju se kod izrade raznih strojnih dijelova. Uzorci su pripremljeni tako da je svaka strana uzorka prije prevlačenja obrađena na različitu hrapavost. Prva strana obrađena je u klasi N3, druga N4, treća N5 i četvrta u klasi N6.

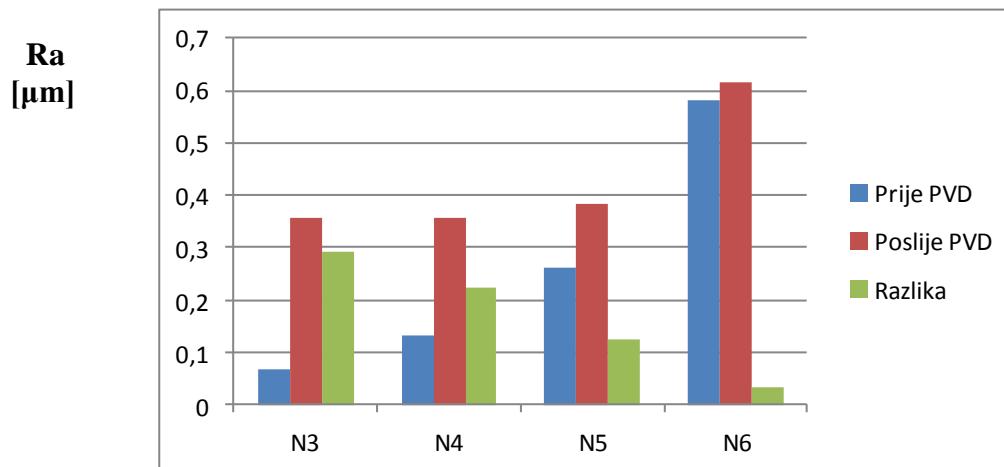
5. REZULTATI MJERENJA HRAPAVOSTI

Mjerenje je srednje aritmetičko odstupanje profila hrapavosti, odnosno srednja aritmetička udaljenost profila od srednje linije (Ra). Mjerenja su provedena na istim uzorcima prije i nakon prevlačenja površina. Hrapavost površine mjerena je na tri uzorka te na većem broju mjesta na svakom uzorku. Za mjerjenje hrapavosti korišten je uređaj za mjerjenje hrapavosti s ticalom Mitutoyo tip SJ-201P. Prije početka mjerjenja uređaj (profilometar) je umjeren pomoću etalona koji je

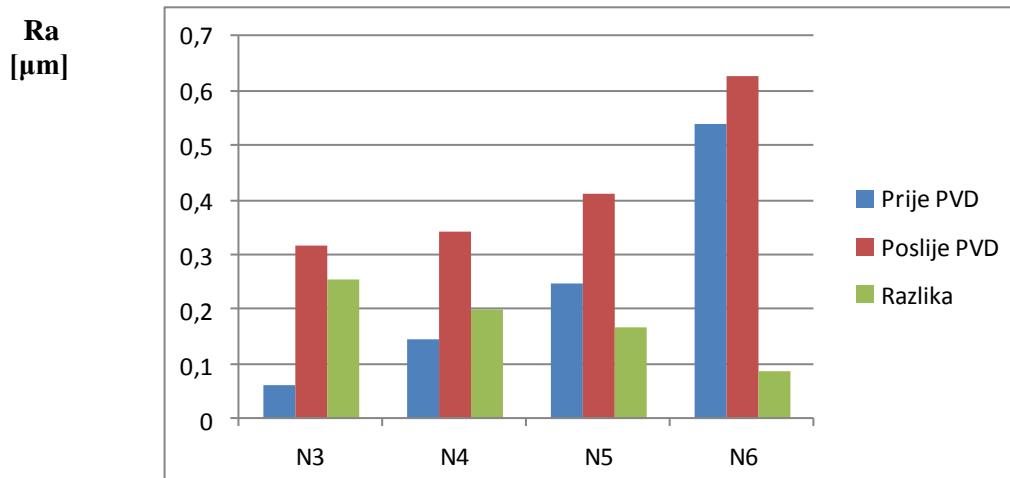
sastavni dio pripadajućeg pribora. Oznake N3, N4, N5 i N6 na slikama 3, 4, 5, 6 označuju klasu hrapavosti površine prije nanošenja prevlake.



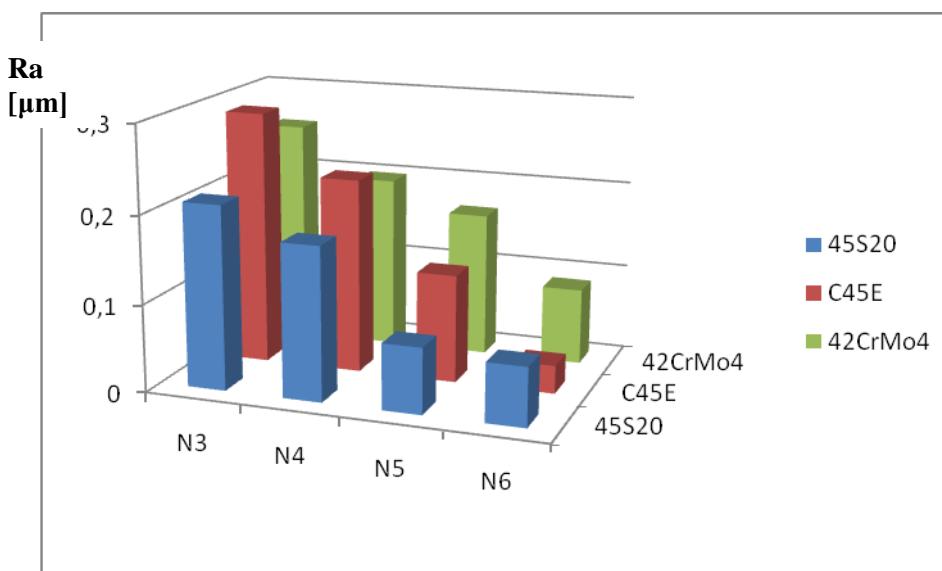
Slika 3. Hrapavost površine čelika 45S20 prije i poslije prevlačenja TiCN+DLC prevlakom



Slika 4. Hrapavost površine čelika C45E prije i poslije prevlačenja TiCN+DLC prevlakom



Slika 5. Hrapavost površine čelika 42CrMo4 prije i poslije prevlačenja TiCN+DLC prevlakom



Slika 6. Razlika hrapavosti čelika (Ra) prije i poslije prevlačenja TiCN+DLC prevlakom za tri vrste konstrukcijskih čelika

6. ZAKLJUČAK

Provedena mjerjenja pokazuju da postoji promjena hrapavosti površine kod čelika za poboljšavanje u normaliziranom stanju nakon prevlačenja TiCN prevlakom. Povećanje hrapavosti veće je kod manje početne hrapavosti, a s povećanjem početne hrapavosti smanjuje se razlika između hrapavosti prije i nakon prevlačenja. Izmjerene vrijednosti pokazuju da vrsta čelika nije imala bitan utjecaj na promjenu hrapavosti. Prema tome čelike u normaliziranom stanju nije potrebno prije prevlačenja obraditi do najfinije hrapavosti, jer nakon provedbe PVD postupka dolazi do približavanja hrapavosti na površinama N3, N4 i N5, tj. sve hrapavosti su približno jednake (N5), a hrapavost površine N6 ostala je u istoj klasi ($Ra \leq 0,8 \mu\text{m}$).

7. LITERATURA

- [1] Filetin, T., Grilec, K., “Postupci modificiranja i prevlačenja površina, Priručnik za primjenu”, Hrvatsko društvo za materijale i tribologiju, Zagreb 2004.
- [2] Filetin, T., Kovačiček, F., “Svojstva i primjena materijala”, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2007.
- [3] Gojić, M., “Površinska obradba materijala”, Metalurški fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Sisak, 2010.
- [4] Kraut, B., “Strojarski Priručnik”, Tehnička knjiga, Zagreb, 1988.
- [5] Križan, B., “Osnove proračuna i oblikovanja konstrukcijskih elemenata”, Sveučilište u Rijeci, Rijeka, 1998.
- [6] Novosel, M., Krumes, D., “Željezni materijali II. dio: Konstrukcijski čelici”, Strojarski fakultet Slavonski Brod, Slavonski Brod, 1995.
- [7] Panjan, P., Čekada, M., “Zaščita orodij s trdimi PVD-prevlekami”, Institut Jožef Stefan, Ljubljana, 2005.