

**OKSIACETILENSKA METALIZACIJA PRAHOM TANKOZIDNIH ČELIČNIH CEVI  
OXY-ACETYLENE THERMAL COLD SPRAY OF THIN WALLED PIPES**Miljan Dragičević, Sebastian Baloš, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad***Oblast – MAŠINSTVO**

**Kratak sadržaj** – Prilikom procesa proizvodnje kao i u procesu reparacije, zaštitni/reparacioni sloj se može nanositi različitim metodama. Metode srodne zavarivanju su navarivanje i metalizacija. Metalizacija je postupak koji daje veoma visok kvalitet površine i kao takav u najvećem broju slučajeva ne zahteva naknadnu mašinsku obradu. U ovom radu je prikazana realizacija hladnog postupka gasne metalizacije prahom, gde su nanoseni slojevi volfram karbida na podvrgnuti ispitivanju mikrostrukture i mikrotvrdoće.

**Gljučne reči:** Oksiacetilenska metalizacija prahom, volfram karbid, metalografija, mikrotvrdoća

**Abstract** – During the production and the repair processes, the protective/reparation layer can be applied by different methods. Welding allied processes are surfacing and thermal spraying. Thermal spraying is a process that gives a very high quality of the surface and as such in most cases does not require subsequent machining. In this paper, cold process of powder gas metallization will be presented, where the applied tungsten carbide layers will be subjected to microstructure and microhardness testing.

**Keywords:** Thermal metallization, powder flame spraying, tungsten carbide, metallography, microhardness

**1. UVOD**

Radni vek mašinskih delova, elemenata i opreme u velikoj meri zavisi od načina njihovog eksploatacija. Prilikom izloženosti istih velikim udarnim silama, trenju, habanju ili uticaju spoljašnje sredine, dolazi do oštećenja njihovog površinskog sloja ili razaranja.

Kako bi se površine tih delova pre svega zaštitile, ojačale ili pak kako bi se oštećenje tih površina saniralo, koriste se metode slične zavarivanju, a to su navarivanje i metalizacija. Kako je poznato da se razvojem tehnologija razvio i veliki broj metoda nanošenja površinskih slojeva, proces gasne metalizacije prahom zauzima relativno visoko pozicionirano mesto zbog pristupačne i jeftine opreme, kao i zbog mogućnosti upotrebe velikog broja različitih dodatnih materijala.

Oksiacetilenska metalizacija prahom predstavlja postupak metalizacije koji se može svrstati u hladne, kao i u tople

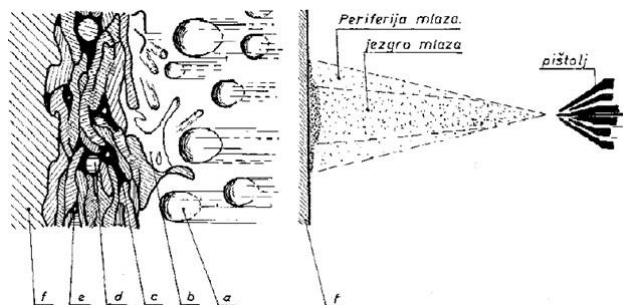
**NAPOMENA:**

**Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio prof. dr Sebastian Baloš.**

postupke. Postupak pronalazi svoju široku primenu u nanošenju površinskih slojeva zbog mogućnosti upotrebe širokog asortimana materijala. Dodatni materijal kako i sam naziv kaže jeste u obliku praha.

Kao dodatni materijal mogu se koristiti sve vrste metala, karbida, polimera i keramike. Materijali koji nemaju afinitet prema kiseoniku predstavljaju veoma pogodna za realizaciju ovog procesa. Hladna metalizacija prahom predstavlja postupak nanošenja dodatnog materijala (istopljeni prah) na već pripremljenu relativno hladnu osnovnu površinu. Osnovna osobina jeste nerastvaranje površinskog sloja osnovnog materijala i mogućnost nanošenja relativno tankih prevlaka od 0,05 do 5 mm. Temperatura osnovnog materijala prilikom samog procesa ne prelazi 250 °C što ga i svrstava u hladni postupak. Sam proces otpočinje u pištolju za gasnu metalizaciju gde se prah kao dodatni materijal topi u plamenu smeše gorivog gasa (acetilen i kiseonik).

Tako istopljene i omekšane čestice putuju u struji plamen do osnovnog materijala gde se lepe za njega i formiraju sloj (slika 1) [1].



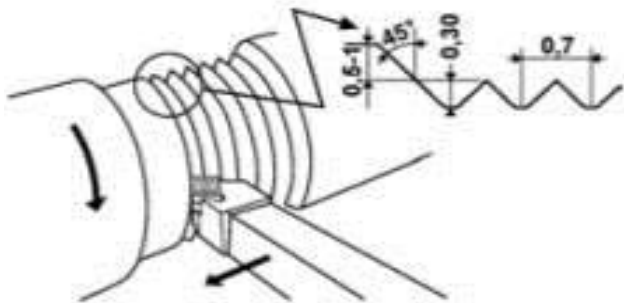
Slika 1 Prikaz stvaranja površinskog sloja prilikom postupka metalizacije [1]

Dodatni materijal u obliku praha prolazi kroz pištolj određenim kanalima, dolazi do plamena i topi se. Tako istopljen dodatni materijal u obliku kapljica dolazi do osnovnog materijala (f) i difuzionim slima se vezuje za njega. Prilikom kretanja kapljica pod uticajem temperature oksidiše (a) i nastavlja put do udaranja o podlogu i raspršivanja (b). Kako se već oksidni sloj stvorio oko kapljice, prilikom udara on puca i ostaje zarobljen u prevlaci (c) kao i gasni mehur (e).

Čestice nakon udara i određenog vremena kreću da očvršćava (d). Kako je potrebno ostvariti dobru ateziju, odnosno dobru vezu među dodatnim i osnovnim materijalom, prvenstveno je potrebno pre svega pripremiti površinu osnovnog materijala na određenu hrapavost (f). Prilikom nanošenja prevlaka ovim postupkom dobijaju se slojevi proznosti od 3 do 15% [1].

## 2. EKSPERIMENTALNI DEO

Pre početka procesa metalizacije potrebno je pripremiti površinu osnovnog materijala prema preporukama koje je na osnovu svojih karakteristika pištolja dao proizvođač "CASTOLIN" (slika 2) [2].



Slika 2 Priprema površine struganjem [2]

Priprema površine osnovnog materijala (čelik S355) polaznog oblika Ø88,9 x 320 mm sastoji se iz površinske obrade struganjem prema sledećim parametrima narezivanja zavojnice [2]:

- korak zavojnice 0,7 mm,
- dubina 0,3 mm,
- ugao strugarskog noža 45° po strani,
- brzina obrtanja cevi 30 m/min.



Slika 3 Obraden uzorak Ø88,9 x 320 mm

Koristeći prah kao dodatni materijal prvenstveno zahteva poznavanje njegovog hemijskog sastava, te se prilikom eksperimenta koristio prah "Eutalloy RW PE 8902", koji predstavlja leguru na bazi nikla sa 35% volframovog karbida (WC), slika 4. Odlikuje ga visoka otpornost na abrazivno habanje, kao i odlična otpornost na visoke temperature. Specifikacija korištenog praha [3] je sledeća:

- Hemijski sastav: Ni-4,25Si-15,6Cr-3,28B-4Fe+35% WC,
- Tvrdoća: 55-63 HRC,
- Maksimalna radna temperatura: 700°,
- Produktivnost-brzina nanošenja: 5,8 kg/h,
- Potrošnja praha: 95 g/mm.

Kako je u samom eksperimentu vršeno nanošenje četiri vrste različitih prevlaka, samo jedna je sadržala 100 % navedenog praha (uzorak 0), mase 12,8 g. Ostala tri sloja nanosena postupkom gasne metalizacije prahom u sebi su

u određenoj količini prema težinskom omjeru sadržala i TiO<sub>2</sub> nanočestice:

- uzorak 1: 12,8 g "Eutalloy RW PE 8902" i 0,01 g 40 nm TiO<sub>2</sub> nanočestica,
- uzorak 2: 12,8 g "Eutalloy RW PE 8902" i 0,05 g 40 nm TiO<sub>2</sub> nanočestica,
- uzorak 3: 12,8 g "Eutalloy RW PE 8902" i 0,09 g 40 nm TiO<sub>2</sub> nanočestica.



Slika 4 Prah "Eutalloy RW PE 8902"

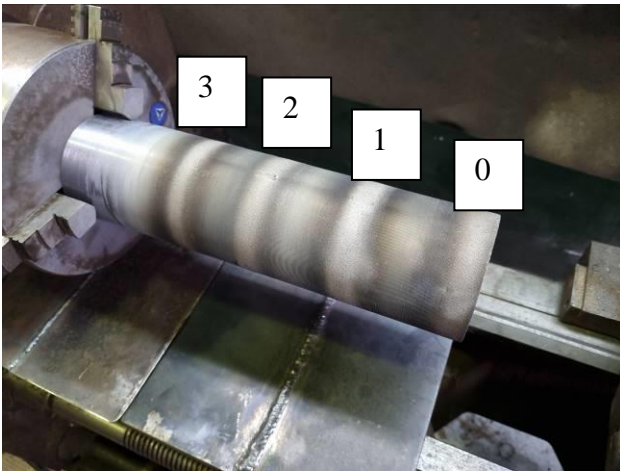
Pre samog početka procesa i nakon provere ispravnosti opreme, potrebno je izvršiti čišćenje i odmašćivanje već pripremljene površine osnovnog materijala. Prilikom izvođenja procesa korištena je oprema proizvođača "CASTOLINE" i praćene su njihove smernice. Prilikom realizacije eksperimenta korišten je pištolj „CASTOLIN - DS 8000“ (slika 5).

Prethodno obrađena cev se postavila na univerzalni strug, sa podešenom brzinom obrtanja 71 o /min, što je u skladu sa preporukama proizvođača uređaja i praha.



Slika 5 Pištolj „CASTOLIN - DS 8000“

Nakon što je završena realizacija postupka metalizacije, pristupa se ispitivanju nanešenih slojeva u cilju dobijanja što preciznih podataka o nanesenim slojevima. Jedna od metoda metalografskih ispitivanja jeste mikroskopska metoda koja je korištena u ovom ispitivanju.



Slika 6 Četiri vrste različitih slojeva (svetle pruge na uzorku, oivičene tamnom bojom usled dejstva toplote), s desna na levo: uzorak 0, 1, 2 i 3

Pre ispitivanja potrebno je pripremiti uzorke koji će se koristiti. Mikroskopsko ispitivanje već pripremljenih uzoraka omogućava da se odredi tip mikrostrukture, veličina zrna i njihova orijentacija, kao i veličina uključaka. Metalografski svetlosni mikroskopi rade na principu odbijanja svetlosti. Svetlosni zraci koji padaju na ravnu površinu odbijaju se i pod istim uglom dolaze do posmatračevog oka. Ta tačka se na mikroskopskom snimku vidi kao bela površina.

Ukoliko se koristi nagrižena površina koja je neravna, svetlosni snop se u veoma maloj meri odbija od te površine i dolazi do posmatračevog oka, gde na mikroskopskom snimku predstavlja crnu površinu [4]. Prilikom ispitivanja korišten je svetlosni mikroskop "Leitz Ortoplan" (slika 7).



Slika 7 Svetlosni mikroskop "Leitz Ortoplan"

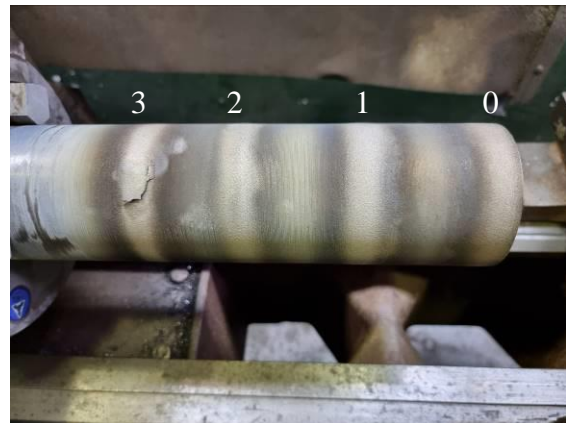
Naneseni slojevi simuliraju prevlake koje će se kasnije koristiti u zaštiti površinskih slojeva, s toga je potrebno izvršiti merenje njihove mikrotvrdoće kako bi se uporedio značaj dodavanja nanočestica u dodatni materijal. Mikrotvrdoća predstavlja precizno određivanje promena u vrednostima tvrdoće na određenim mestima. Prilikom merenja mikrotvrdoće korišten je uređaj „Wilson Tukon 1102“ sa opterećenjem 200 g (HV0.2) (slika 8).



Slika 8 Uređaj za merenje mikrotvrdoće "Wilson Tukon 1102"

### 3. REZULTATI I DISKUSIJA

Izgled uzorka tankozidne cevi nakon nanošenja četiri metalizirana sloja, dat je na slici 9. Vidi se da je došlo do intenzivnog odvajanja kod uzorka 3, verovatno usled loše athezije.

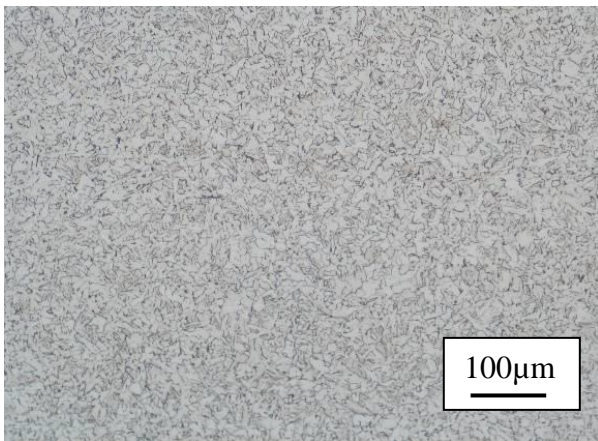


Slika 9 Cev nakon metalizacije

Osnovni materijal (tankozidna cev) ima feritno-perlitnu mikrostrukturu (slika 10), što je u skladu sa relativno niskim sadržajem ugljenika u čeliku. Na slici 11 su dati uzdužni preseki cevi sa vidljivim nanetim slojevima.

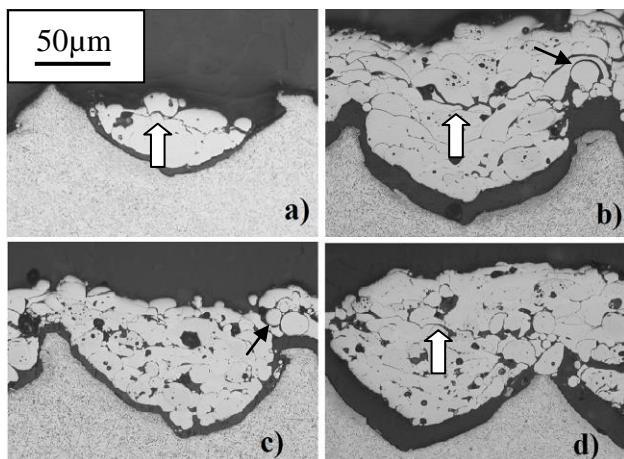
Uzorak 0 je na izgled najtanji i njime nisu popunjeni ni risevi koji vode poreklo od pripreme struganjem. Međutim, sa slike 6 je evidentno da jeste došlo do popune, što ukazuje na konstataciju da je do uklanjanja gornjeg dela prevlake, najverovatnije usled odvajanja pojedinih slojeva tokom metalografske pripreme, koja je uticala na razdvajanje slojeva od osnove.

To se vidi kao tamna granica između prevlake i osnove. Ona je najveća kod uzorka 1 i 3, dok je kod uzorka 0 i 2 približno jednake širine.



Slika 10 Ferritno-perlitna mikrostruktura osnovnog materijala

Najveću debljinu ima sloj 1, potom 3 i konačno, 2. Mikrostruktura sadrži mnoštvo deformisanih zrna, čak i nepretopljenih (označeno strelicom). Pored toga, prisutne su i tamne pore, kao i raslojavanje (bele strelice), koje je najmanje intenzivno kod uzorka 2.



Slika 11 Mikrostruktura nanesenih slojeva  
a) uzorak 0, b) uzorak 1, c) uzorak 2, d) uzorak 3

Na osnovu dobijenih rezultata merenja mikrotvrdoće (tabela 1) može se videti da je mikrotvrdoća uzorka 1 nešto manja od kontrolnog uzorka 0. Međutim, na osnovu standardne devijacije, može da se konstatuje da je to unutar statističke ponovljivosti, te se mikrotvrdoća ova dva uzorka može smatrati istom.

Uzorak 2 ima značajno veću tvrdoću u odnosu na ostale uzorke, dok je kod uzorka 3 mikrotvrdoća najmanja. Povećana tvrdoća uzorka 2 može se objasniti stvaranjem prepreka prilikom kretanja dislokacija u leguri nikla (u vidu disperzoida) u osnovi prevlake, koje su nastale unošenjem  $TiO_2$ .

Smanjena tvrdoća uzorka 3 može se povezati sa aglomerisanjem nanočestica (spajanje nanočestica relativno slabim Van der Waalsovima silama). Aglomeracija nanočestica bi takođe moglo da dovede do smanjenja otpornosti na habanje.

Teorija o aglomeraciji je nova u ovoj oblasti, te se mora dokazati skening ili transmisionim elektronskim mikroskopom.

Tabela 1 Vrednosti mikrotvrdoće HV0,2

	Uzorak 0	Uzorak 1	Uzorak 2	Uzorak 3
Merenje 1	1013,5	990,5	1073,2	748,8
Merenje 2	954,7	935,7	1048,8	687,6
Merenje 3	911,2	917,5	1135,2	839,4
Srednja vrednost	959,8±51,3	947,9±38	1085,7±44,5	758,6±76,4

#### 4. ZAKLJUČAK

Kako je proizvođač dodatnog materijala naveo da se njegova tvrdoća kreće (55-63 HRC, što je približno 596-774 HV30) može se zaključiti da prah u kombinaciji sa nanočesticama pruža mogućnost povećanja tvrdoće što je rezultatima i prikazano. Uzorak 0 i 3 su pokazali najlošije karakteristike, zbog raslojavanja i odvajanja prevlake tokom metalografske pripreme ili neposredno nakon metalizacije. To ukazuje da je za upotrebu ovog dodatnog materijala poželjno koristiti međusloj (bafer sloj) na bazi nikla koji bi povećao adheziju između dodatnog i osnovnog materijala. Povećanje mikrotvrdoće kod uzorka 2 se može objasniti ojačavanjem veziva na bazi legure nikla nanočesticama. Kako je ova oblast nova, potrebno je u perspektivi uložiti napor da se objasne fenomeni ko dokih se došlo u ovom radu.

#### 6. ZAHVALNOST

Rezultati prezentovani u ovom radu su realizovani u okviru projekta „Inovativni materijali i tehnologije spajanja“, Departmana za proizvodno mašinstvo, FTN, Novi Sad.

#### 7. Literatura:

- [1] M. Božović, O. Stojanović O.: „Smanjenje habanja primenom metalizacije“, Stručni rad, Međunarodna konferencija „Stanje i perspektiva zavarivanja na početku novog veka“, (2001), str. 77-82.
- [2] Castolin Eutectic: „Operating manual“, Messer Eutectic Castolin, Gliwice-Poland, str. 1-23.
- [3] <https://www.plasmacentre.ru/produkcziya/poroshki-provoloka-elektrodyi/castolin-eutectic/eutalloy-rw/eutalloy-rw-pe-8902/> (Pristupio 18.10.2021.)
- [4] D. Ivaniš, „Određivanje tvrdoće materijala Vikersovom metodom uz različita opterećenja“, Završni rad, Sveučilište u Zagrebu fakultet strojarstva i brodogradnje, 2009.

#### Kratka biografija:



**Miljan Dragičević** rođen u Bijeljini 1996. god. Diplomski rad na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Proizvodno mašinstvo – Materijali i tehnologije spajanja odbranio je 2019.god.



**Sebastian Baloš** rođen u Somboru 1974. god. Doktorirao je na Fakultetu tehničkih nauka 2010. god., a 2021. godine je biran u zvanje redovnog profesora iz oblasti Mašinsko inženjerstvo, tj. uže naučne oblasti Materijali i tehnologije spajanja