

# Vrste postupaka toplinskog naštrcavanja i njihova primjena na dijelovima poljoprivredne tehnike

---

Giber, Tomislav

Undergraduate thesis / Završni rad

2020

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:*

**Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek /  
Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:151:085427>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-12-31**



Sveučilište Josipa Jurja  
Strossmayera u Osijeku

**Fakultet  
agrobiotehničkih  
znanosti Osijek**

*Repository / Repozitorij:*

[Repository of the Faculty of Agrobiotechnical  
Sciences Osijek - Repository of the Faculty of  
Agrobiotechnical Sciences Osijek](#)



SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU  
**FAKULTET AGROBIOTEHNIČKIH ZNANOSTI OSIJEK**

Tomislav Giber

Preddiplomski sveučilišni studij Poljoprivreda

Studij Mehanizacija

**Vrste postupaka toplinskog naštrcavanja i njihova primjena na  
dijelovima poljoprivredne tehnike**

Završni rad

Osijek, 2020.

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU

**FAKULTET AGROBIOTEHNIČKIH ZNANOSTI OSIJEK**

Tomislav Giber

Preddiplomski sveučilišni studij Poljoprivreda

Studij Mehanizacija

**Vrste postupaka toplinskog naštrcavanja i njihova primjena na  
dijelovima poljoprivredne tehnike**

Završni rad

Povjerenstvo za ocjenu završnog rada:

1. Ivan Vidaković, mag.ing.mech., mentor
2. Prof.dr.sc. Goran Heffer, član
3. Doc.dr.sc. Vjekoslav Tadić, član

Osijek, 2020.

## TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

---

Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku  
Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek  
Preddiplomski sveučilišni studij Poljoprivreda, smjer Mehanizacija

Završni rad

Tomislav Giber

### **Vrste postupaka toplinskog naštrcavanja i njihova primjena na dijelovima poljoprivredne tehnike**

**Sažetak:** Kod mehaničkih se dijelova kao najčešći oblik oštećenja ističe trošenje, odnosno korozija. Usporavanje ili zaustavljanje ove pojave moguće je jedino uz primjenu odgovarajućih čimbenika koji su i uzrok takvih djelovanja. Kao jedan od najčešće primjenjivih načina u praksi ističe se nanošenje zaštitnih slojeva ili prevlaka. Naime, uz pomoć istih omogućena je zaštita podloge od negativnog utjecaja okoliša i atmosfere. Tretiranje osnovnog materijala s ciljem ne samo zaštite površine materijala, već i produžetka korisnog vijeka trajanja proizvoda predstavlja ujedno i osnovnu svrhu toplinskog naštrcavanja. Kod primjene takvog postupka ključan je odabir osnovnih parametara, a to su: osnovni materijal, prevlaka te postupak prevlačenja.

**Ključne riječi:** Korozija, toplinsko naštrcavanje, osnovni materijal, prevlaka, postupak prevlačenja

Završni rad pohranjen je u Knjižnici Fakulteta agrobiotehničkih znanosti u Osijeku i u digitalnom repozitoriju završnih i diplomskih radova Fakulteta agrobiotehničkih znanosti u Osijeku

## BASIC DOCUMENTATION CARD

---

Josip Juraj Strossmayer University of Osijek  
Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek  
Undergraduate university study Agriculture, course Mechanization

Final work

Tomislav Giber

### **Types of heat spraying procedures and their application on parts agricultural machinery**

**Summary:** In the mechanical parts the most common form of damage is wear, respectively corrosion. Slowing down or stopping this appearance is possible only with the application of appropriate factors that are the cause of such actions. As one of the most applicable methods in practice is the application of protective layers or coatings. Namely, with their help it is possible to protect substrates from the negative effects of the environment and atmosphere. The treatment of the basic material with the help of not only protective materials, but also the extended service life of the product, is the basic purpose of thermal spraying. When applying such a procedure, it is crucial to select the basic parameters, and those are: basic material, coating and the coating process.

**Key words:** corrosion, thermal spraying, basic material, coating, application process

BSc Thesis is archived in Library of Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek and in digital repository of Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek

## SADRŽAJ

1. UVOD.....	1
1.3. Sadržaj i struktura rada .....	1
2. POJAM I VRSTE PREVLAČENJA POVRŠINE .....	2
3. POJAM TOPLINSKOG NAŠTRCAVANJA .....	5
3.1. Osnovne vrste postupaka.....	8
3.1.1. Plinsko (plameno) naštrcavanje .....	9
3.1.2. Elektrolučno naštrcavanje.....	11
3.1.3. Plazma naštrcavanje.....	12
3.1.4. Visokobrzinsko naštrcavanje plinskim plamenom - HVOF .....	13
3.2. Namjena i principi provođenja postupaka .....	14
3.3. Svrha toplinskog naštrcavanja .....	16
3.4. Primjena toplinskog naštrcavanja u poljoprivredi.....	17
4. ZAKLJUČAK.....	20
LITERATURA .....	21

## 1. UVOD

Toplinsko naštrcavanje, poznato i pod nazivom termičko naštrcavanje, generički je naziv za skupinu postupaka koji se koriste za nanošenje metalnih ili nemetalnih premaza. Ova vrsta tehnologije uvelike poboljšava ili obnavlja površinu čvrstog materijala. Postupak se može koristiti za nanošenje premaza na širok raspon materijala i komponenti, kako bi se postigla otpornost na habanje, eroziju, kavitaciju, koroziju, abraziju ili toplinu. Nadalje, termičko naštrcavanje se također koristi za postizanje električne vodljivosti ili izolacije, podmazivanje, za postizanje kemijske otpornosti ali i za mnoga druga poželjna svojstva. Široko je prihvaćeno u mnogim industrijama kao preferirana metoda. Bitno je i napomenuti kako su ključna znanja potrebna za ovaj proces usmjerena na: poznavanje procesa proizvodnje i obrade materijala, metode istraživanja i ispitivanja pojedinih svojstava, poznavanje svojstava i ponašanja različitih tehničkih materijala, odabir odgovarajuće metode prilikom traženja materijala, poznavanje postupaka modificiranja i prevlačenja površina kao i poznavanje određenih metoda modeliranja i simuliranja svojstava materijala i parametara cjelokupnog procesa. Gotovo svaki osnovni materijal može se obložiti, uključujući metale, keramiku, plastiku, vlaknaste kompozite ili prirodne materijale poput kamena, drveta, itd. Iz navedenog proizlazi kako ovakav način prskanja, odnosno naštrcavanja nudi veliku fleksibilnost u pogledu mogućih kombinacija materijala.

Cilj završnog je što preciznije i jasnije objasniti pojam i vrste naštrcavanja površine, ali i što preciznije i jasnije objasniti pojam toplinskog naštrcavanja, njegove osnovne vrste postupaka, namjenu i principe provođenja postupaka i svrhu toplinskog naštrcavanja.

Za potrebe istraživanja korištena je relevantna stručna literatura, knjige i članci. Najčešći izvori podataka bile su: elektronske baze podataka, internet tražilice te znanstvene i stručne domaće i strane publikacije.

Završni rad strukturiran je na način da je podijeljen na četiri poglavlja. Prvo poglavlje odnosi se na uvod. Drugo poglavlje obuhvaća pojam i vrste naštrcavanja površine. U trećem poglavlju analiziran je i teorijski objašnjen pojam toplinskog naštrcavanja. Osim toga, u sklopu ovog poglavlja analizirane su i objašnjene osnovne vrste postupaka, zatim namjena i principi provođenja postupaka te svrha toplinskog naštrcavanja. U četvrtom poglavlju iznesen je zaključak istraživačkog rada. Na kraju rada navedena je sva korištena relevantna stručna literatura te popis slika.

## 2. POJAM I VRSTE PREVLAČENJA POVRŠINE

Cilj postupka prevlačenja površina alata i konstrukcijskih dijelova je postizanje otpornosti na trošenje. Dodatno se određenim postupcima povisuje korozijska postojanost, otpornost na visokotemperaturnu oksidaciju te toplinski umor (Landek i Cajner, 2011.).

Prema temeljnim fizikalnim, ali i kemijskim osnovama procesa modificiran i sistematiziran je veliki broj postupaka prevlačenja metalnih površina. Naime, kod postupaka modificiranja, površinski sloj karakterizira nastanak od polazne površine prema unutrašnjosti metala. S druge pak strane, postupke prevlačenja karakterizira stvaranje površinskog sloja na polaznoj površini. Bitno je napomenuti kako se površinski slojevi od osnovno obrađivanog materijala razlikuju u samoj mikrostrukturi, zatim u kemijskom sastavu, kristalnim rešetkama kao i u mnogim drugim fizikalnim i kemijskim svojstvima koji daju različita eksploatacijska svojstva. Uobičajena podjela procesa modifikacije je na (Stupnišek i Matijević, 2000.):

- mehaničku,
- toplinsku,
- toplinsko – kemijsku.

Prethodno navedeni procesi mogu se kombinirati. Mehaničko modificiranje definira se kao mehaničko unošenje tlačnih napetosti u površinski sloj metalnog materijala u kojem se promjene poput pomicanja i umnožavanja dislokacija odvijaju u kristalnoj rešetci, a sve to pridonosi povećanju otpornosti same površine. Također, ova vrsta modifikacije provodi se postupcima kontroliranog sačmarenja površina konstrukcijskih dijelova, i to najčešće zupčanika, s ciljem dodatnog povećanja nosivosti boka zuba, ali i povišenja dinamičke izdržljivosti zupčanika (Stupnišek i Matijević, 2000.).

Sljedeće u nizu modificiranja je toplinsko, koje karakterizira unošenje toplinske energije u površinski sloj strojnih dijelova koji su izrađeni od čelika i željeznih ljevova, a čime se uspostavlja površinsko kaljenje. Naime, pri visokoj se gustoći se toplinske energije i kraćim trajanjima, zagrijavanje uglavnom ograničava isključivo na površinski sloj. Osim plamenog i indukcijskog zagrijavanja, u novije se vrijeme sve više primjenjuju i neki drugi inovirani postupci poput primjerice zagrijavanja putem elektronskog snopa ili zagrijavanje uz pomoć lasera. (Stupnišek i Matijević, 2000.). Kod takvih je postupaka dubina zagrijavanja i zakaljivanja znatno manja.

Toplinsko – kemijsko modificiranje uključuje postupke u kojima se osim unošenja toplinske energije unose i drugi kemijski elementi pri čemu dolazi do promjene kemijskog sastava, mikrostrukture i svojstva površinskih slojeva. Nadalje, u površinski sloj metalnog materijala, nemetalni elementi unose se mehanizmom difuzije. U ovu skupinu modificiranih postupaka ubrajaju se i postupci površinskog legiranja primjenom lasera, koji pružaju brojne mogućnosti.

U postupku prevlačenja primjenjuju se sljedeće podskupine, a to su (Stupnišek i Matijević, 2000.):

- toplinska,
- mehanička,
- toplinsko – mehanička,
- kemijska,
- elektrokemijska,
- prevlačenje u parnoj fazi.

Kod toplinskog prevlačenja površinski sloj nastaje primjenom topline za rastaljivanje metalnog materijala. Nakon toga sloj se kristalizira na površini obrađivanog osnovnog metalnog materijala. U ovom slučaju primjenjuju se postupci navarivanja te postupci uranjanja u rastaljeni metal. Cilj postupka navarivanja očituje se u povećanju otpornosti na trošenje, ali i u povećanju otpornosti na određeni kemijski utjecaj. S druge pak strane, postupak uranjanja u rastaljeni metal primjenjuje se u slučajevima povećanja otpornosti prema koroziji i kemijskom djelovanju općenito (Stupnišek i Matijević, 2000.).

Deformacijsko spajanje različitih metalnih materijala postiže se mehaničkim prevlačenjem odnosno mehaničkim djelovanjem. Ovu vrstu prevlačenja karakterizira različitost svojstva i otpornost prema kemijskom djelovanju. Sljedeći u nizu prevlačenja je toplinsko – mehaničko. Naime, dodatni materijal rastaljuje se primjenom toplinske energije te se potom tako rastaljenje čestice mehaničkim udarom usmjeravaju na površinu obrađivanog predmeta nakon čega se kristaliziraju. Različitim postupcima naštrcavanja, poput primjerice naštrcavanja plamenom, plazmom, detonacijski, elektrolučno, nanose se različiti metali, legure i mješavine s keramičkim materijalima. Cilj takvih postupaka usmjeren je na povećanje otpornosti na trošenje, ali i na povećanje otpornosti na kemijsko djelovanje. Bitno je napomenuti kako se u postupku naštrcavanja, za razliku od postupka navarivanja, nanose tanji slojevi jednolike debljine koje je naknadno moguće i obnavljati.



Kako bi se povećala otpornosti prema koroziji i kemijskom djelovanju primjenjuju se postupci kemijskog presvlačenja. Ti postupci su sljedeći: fosfatiranje, zatim kromatiranje, bezstrujno niklanje te sol – gel postupci (Stupnišek i Matijević, 2000.).

Elektrokemijsko naštrcavanje, kao i prethodno spomenute vrste naštrcavanja, ima za cilj povećanje otpornosti prema koroziji i kemijskom djelovanju. U ovom slučaju, kromirani površinski slojevi imaju visoku otpornost prema koroziji kao i povišenu tvrdoću i otpornost na trošenje. Također, lokalno se nanese slojevi nakon istrošenja mogu obnavljati.

Posljednji u nizu naštrcavanja je i naštrcavanje u parnoj fazi koje se primjenjuje u području izrade elemenata mikroelektronike i optike. Nadalje, prevučeni slojevi na konstrukcijskim elementima imaju niži koeficijent trenja i višestruko dužu trajnost za razliku od prevučenih dijelova. Kao osnovni postupci ističu se CVD (*eng. Chemical Vapour Deposition*), koji se provode pri temperaturama od 1000 °C te se obično primjenjuju za sinterirane tvrde materijale, zatim PVD postupci (*eng. Physical Vapour Deposition*), koji se provode pri temperaturama od oko 500 °C te postupci PA CVD (*eng. Plasma Assisted Chemical Vapour Deposition*), koji uključuju elemente prethodno dva spomenuta postupka, a provode se na temperaturi od oko 200 °C (Stupnišek i Matijević, 2000.).

U nastavku analiziran je i teorijski objašnjen pojam toplinskog naštrcavanja.

### 3. POJAM TOPLINSKOG NAŠTRCAVANJA

Postupak nanošenja metalnih i nemetalnih materijala u rastaljenom ili polurastaljenom stanju na osnovni materijal, nakon čega se stvaraju određene prevlake na površini osnovnog materijala, naziva se toplinsko naštrcavanje. Drugim riječima, toplinsko naštrcavanje uključuje sve one postupke kod kojih se dodatni materijali za naštrcavanje, a to su uglavnom žice ili praškovi, rastaljuju u samom uređaju ili izvan njega te se potom nanose na površinu mjesta koje se obrađuje. Pri tome ne dolazi do rastaljivanja površine obrade (Fauchais i Vardelle, 2007.).

Dakle, izraz "toplinsko, odnosno termalno naštrcavanje" opisuje proces koji koristi toplinsku energiju generiranu kemijskim (sagorijevanjem) ili električnim metodama za otapanje ili omekšavanje te ubrzanje sitnih disperzija čestica ili kapljica do brzine u rasponu od 50 do  $> 1000$  m/s. Dobivene visoke temperature i brzine čestica rezultiraju u značajnoj deformaciji kapljica prilikom udarcu na površinu, proizvodeći pritom tanke slojeve, koji prijanjaju na površinu podloge. Čvrste kapi se nakupljaju, čestica po čestica, kao kontinuirani tok kapljica kako bi se formirali kontinuirani brzo stvrdnuti slojevi. Pojedinačne pločice su obično tanke ( $\sim 1$  do  $20 \mu\text{m}$ ), a svaka kapljica se hladi na vrlo visokim brojkama ( $> 10^6$  K/s za metale) da tvori jednolične, fino-zrnate, polikristalne premaze ili naslage. (Fauchais i Vardelle, 2007.)

Naštrcane prevlake obično sadrže određenu razinu poroznosti, obično između 0 i 10%, neke nerastopljene ili djelomično rastopljene čestice, potpuno rastopljene i deformirane „pločice“, metastabilne faze i oksidacija iz zraka (Davis, 2004.). Termički mlazovi ili plinovi naštrcavanja karakterizirani su velikim gradijentima i temperaturama i brzinom. Sirovina je obično u obliku praha s raspodjelom veličine čestica. Kad se ti praškasti materijali ubacuju, dijelovi raspodjele praha vode se preferiranim putevima prema njihovoj inerciji. Kao rezultat toga, neke čestice mogu biti potpuno ne otopljene i mogu stvoriti poroznost ili postati zarobljene u obliku „umotavanja“ u oblozi. Korištenje materijala od sirovina i žica stvara raspodjelu veličine čestica zbog neujednačenog zagrijavanja i nepredvidive vučne sile. Razina tih oštećenja premaza varira ovisno o odabranom postupku termičkog naštrcavanja, odabranim karakteristični su za mnoge metalne premaze raspršene zrakom. Takvi premazi pokazuju da imaju lamelarne mikrostrukture, s dugom osi udarnih ploha orijentiranih paralelno s površinom podloge, zajedno s raspodjelom slično orijentiranih oksida.

Sadržaj oksida u prevlaci varira u odnosu na postupak - žičani luk, plazma ili HVOF. Progresivno povećavanje brzina čestica tih procesa dovodi do različitih razina oksida i različitih stupnjeva raspada oksida o utjecaju na površinu. Oksidi mogu povećati tvrdoću prevlake i otpornost na trošenje i mogu osigurati podmazivanje. Suprotno tome, pretjerano i kontinuirano oksidne mreže mogu dovesti do kohezivnog kvara premaza i pridonijeti prekomjernom trošenju krhotina. Oksidi također mogu smanjiti otpornost na koroziju. Važno je odabrati materijale, postupke prevlačenja, i parametre obrade koji omogućuju kontrolu sadržaja oksida i strukturu na prihvatljivoj razini za danu upotrebu. ( Davis, 2004.)

Termičke prevlake za naštrcavanje mogu sadržavati različite stupnjeve poroznosti, ovisno o postupku naštrcavanja, brzini i veličini čestica te raspodjeli naštrcavanja. Poroznost može biti korisna u tribološkoj fazi primjene kroz zadržavanje filmova za podmazivanje. Poroznost je također korisna u prevlakama na biomedicinskim implantatima. Lamelarni oksidni slojevi mogu dovesti i do manjeg trošenja i trenja uslijed mazivosti nekih oksida. Poroznost toplinski naštrcanih prevlaka je obično  $< 5\%$ . Zadržavanje nekih nečistoća i / ili nerastaljenih čestica može dovesti do smanjenih kohezivnih čvrstoća prevlaka, posebno u slučaju materijala koji se naštrcavaju bez toplinske obrade ili fuzije. Ostale ključne karakteristike toplinskih prevlaka su obično vrlo sitne zrnate strukture i stupnjevito usmjerenja. Na primjer, toplinski naštrcani metali iskazali su veličinu zrna od  $< 1\ \mu\text{m}$  prije toplinske obrade nakon nanošenja. Struktura zrna preko pojedinačne pločice obično se kreće od 10 do 50  $\mu\text{m}$ , s tipičnim promjerom zrna od 0,25 do 0,5  $\mu\text{m}$  zbog postignutih visokih brzina hlađenja.

Vlačne čvrstoće prevlaka koje se naštrcavaju mogu biti u rasponu 10 do 60% onih od lijevanog ili kovanog materijala, ovisno o korištenom postupku naštrcavanja. Uvjeti naštrcavanja koji vode do viših razina oksida i niže gustoće taloga rezultiraju u najnižoj čvrstoći. Naštrcavanje s kontroliranom atmosferom dovodi do  $\sim 60\%$  snage, ali je potrebna naknadna toplinska obrada za postizanje vrijednosti od skoro 100% vrijednosti. Jačine naštrcavanja donekle su povezane s ograničenom difuzijom i ograničenom rekristalizacijom zrna tijekom brzog očvršćivanja karakterističnog za postupke toplinskog naštrcavanja. (Davis, 2004.)

Povijest ove tehnologije seže unazad jednog stoljeća, kada je švicarski inženjer Marx Schoop 1910. godine došao na ideju postupka plinskog naštrcavanja i to u obliku praška, a potom i žice. Sukladno tome, razradio je korištenje elektroničkog luka kojim započinje

postupak elektrolučnog naštrcavanja (Christopher i Berndt Ghislain, 2006.). Međutim, još 1882. godine postojao je i njemački patent pod brojem 24460 koji je također ilustrirao osnovne principe toplinskog naštrcavanja. Krajem 30-ih godina J.Reinecke patentirao je plazma pištolj. Pištolj je karakterizirala stabilizacija plinom, a za nanošenje slojeva metala koristila se istosmjerna struja. Međutim, primjena ove značajne povijesne inovacije započeta je tek 50-ih godina, budući da se istosmjerna struja nije primjenjivala 30-ih godina. 70-ih godina Drewin i Thorpe inovirali su plazma pištolj s induktivnim pobuđivanjem plazme uz pomoć radio frekvencije. Istih je godina započeta i primjena varijante plazma naštrcavanja u prostoru sniženog tlaka. Dvadesete godina 20. stoljeća karakterizira razvoj različitih tehnologija toplinskog naštrcavanja, plazma, detonacijsko naštrcavanje, pojava HVOF (*eng. High velocity oxy – fuel*) postupaka, eksplozija plinovite smjese i slično. Bitno je i napomenuti kako su u povijesti prve primjene zabilježene upravo u području zaštite od korozije i trošenja konstrukcijskih elemenata. Primjenom takvog postupka, bila je zaštićena cestovna i željeznička infrastruktura, ali i konstrukcija samih mostova. (Wikipedia, razvoj plamenog naštrcavanja)

Naštrcani sloj nastaje zagrijavanjem ili taljenjem dodatnog materijala koji se potom pretvara u veliki broj čestica koje se u rastaljenom ili u polurastaljenom stanju pod utjecajem visokog tlaka usmjeravaju prema podlozi i udaraju u njih. Prilikom udara u podlogu formiraju se dvije osnovne vrste mehanizama – fizikalno djelovanje, koje uključuje mehaničko sidrenje i difuziju te kemijsko povezivanje, koje uključuje ionske i kovalentne veze. Na slici 1 prikazan je pojednostavljeni prikaz temeljnih faza nastanka sloja u procesu toplinskog naštrcavanja. ( Wikipedia, razvoj plamenog naštrcavanja )



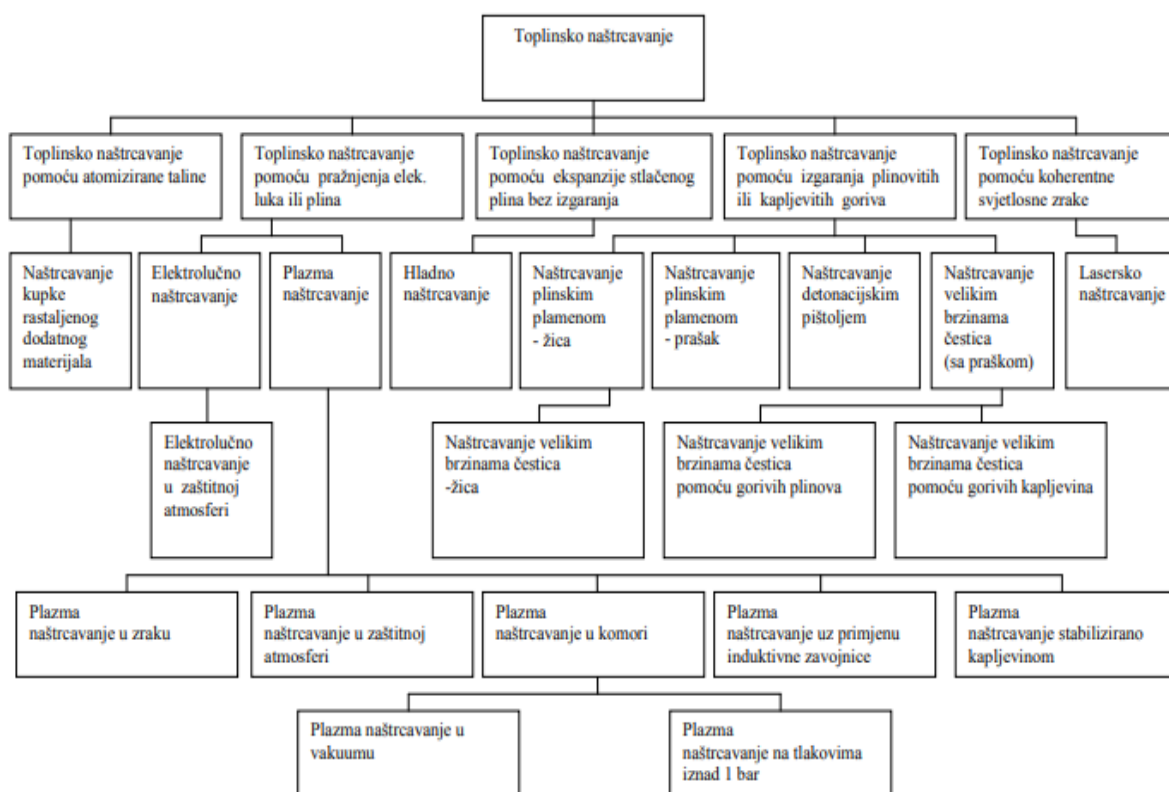
Slika 1. Faze nastanka sloja u procesu toplinskog naštrcavanja

(Izvor: Torer I.: Toplinsko naštrcavanje, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2015., str. 7)

Glavna karakteristika provođenja samog postupka očituje se u tome da rastaljene ili djelomično rastaljene čestice materijala sloja ne tale materijal podloge prilikom dodira, već dolazi samo do zagrijavanja površine. Iz navedenog proizlazi i sljedeće, a to je da primjena ovog postupka ne dovodi do promjena u području mikrostrukture ili kemijskog sastava same podloge. Također, svojstva sloja mogu se prilagoditi sukladno potrebnoj primjeni.

### 3.1. Osnovne vrste postupaka

U današnje se vrijeme tehnologija naštrecavanja dijeli u pet osnovnih postupaka, čije se razlike očituju ne samo po izvoru energije, već i po ostvarenoj toplinskoj, ali i kinetičkoj energiji naštrecanih čestica. Na slici 2 prikazani su osnovni postupci toplinskog naštrecavanja i njihove podvarijante.



Slika 2. Osnovni postupci toplinskog naštrecavanja i njihove podvarijante

(Izvor: Glogović Z.: Utjecaj parametara plinskog naštrecavanja na svojstva nanešenog sloja, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2010., str. 13)

Glavni postupci svakako su plinsko (plameno) i elektrolučno naštrecavanje kod kojih se kao temeljne karakteristike ističe jednostavnost i ekonomičnost primjene. Osim plinskog i

elektrolučnog, važni su i HVOF (*eng. High velocity oxy fuel*) naštrecavanje kao i plazma naštrecavanje (Glogović, 2013.). Njihova detaljnija obrada slijedi u sljedećim poglavljima.

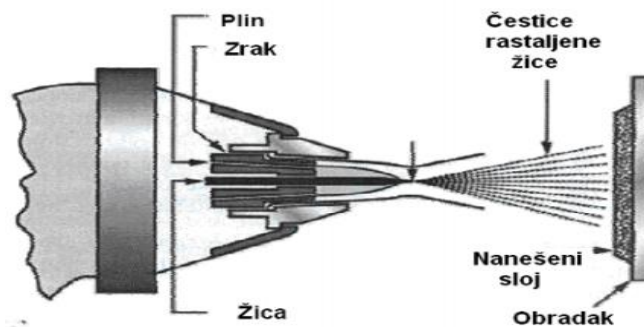
### 3.1.1. Plinsko (plameno) naštrecavanje

Plinsko naštrecavanje ili plameno naštrecavanje praškom je prvi postupak toplinskog naštrecavanja, prva primjena je razvijena početkom dvadesetog stoljeća. Ono je temelj svih novijih postupaka naštrecavanja, a ovim postupkom mogu se nanositi gotovo sve vrste materijala, od metala, polimera, metalnih kompozita pa sve do oksidnih keramika. Dodaci za toplinsko naštrecavanje neovisno o postupku su prah ili žica. Međutim, mogu se koristiti svi materijali koji imaju tekuću rastaljenu fazu u normalnim uvjetima tlaka. Materijali bez tekuće rastaljene faze mogu se obrađivati u kombinacijama s drugim materijalima s rastaljenom tekućom fazom koji stvaraju matricu. Ovisno o kemijskom sastavu prahovi za naštrecavanje mogu se podijeliti po skupinama (Torer, 2015.):

- čisti metali (Cr, W, Ni, Cu, Al, Mo),
- legure (NiCr, NiAl, CuAl, čelici, CoCrW),
- metalni karbidi (WC, TiC, Cr<sub>2</sub>C<sub>3</sub>-NiCr, WC-Co, WC-CoCr),
- samotekuće legure,
- oksidi (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, ZrO<sub>2</sub>),
- organski materijali .

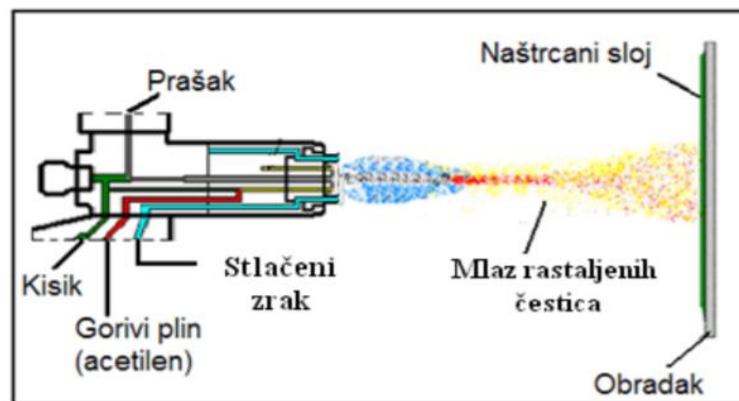
Mogu se koristiti i mješavine, tj. spojevi prahova od gore navedenih komponenti. Najčešći žičani dodaci za naštrecavanje su masivne žice (od nelegiranih, niskolegiranih ili visokolegiranih čelika, aluminijskih legura, bakra, bakrenih legura, nikla, niklenih legura, cinka, cinkovih legura i molidbena) i punjene žice. Potrebno je prilikom odabira materijala za naštrecavanje uvijek promatrati povezanost postupka naštrecavanja, vrstu osnovnog materijala i geometriju obratka. Sloj koji nastaje produkt je međusobne povezanosti čestica i plinskog plamena s česticama i podlogom gdje dolazi do naštrecavanja. Stoga je iznimno važan pravilan odabir, odnosno kvaliteta dodatnog materijala. Postoji preko 350 vrsta dodatnog materijala. Uobičajene pogreške do kojih dolazi zbog pogrešnog odabira materijala su: preširok raspon promjera čestica praška, zatim neujednačenost kemijskog sastava i deformacija čestica nakon sudara. Dakle, u procesu plamenog naštrecavanja ključno je prilikom odabira praška odrediti sljedeće: veličinu čestice, kemijski i fazni sastav, vanjsku i unutarnju morfologiju, visokotemperaturno ponašanje te gustoću i aerodinamička svojstva (Torer, 2015.)

Dakle, plinsko (plameno) naštrcavanje predstavlja postupak naštrcavanja kod kojeg se dodatni materijal rastaljuje plamenom s gorivim plinom i kisikom, te se na površinu koja se prevlači naštrcava uz pomoć ekspanzije procesnog plina ili nekih dodatnih plinova. Važno je istaknuti kako su najčešći gorivi plinovi acetilen, vodik i propan. Uobičajena podjela plinskog naštrcavanja je na plinsko naštrcavanje praškom te na plinsko naštrcavanje žicom (Pawlowski, 2007.). Na slici 3 prikazan je postupak plinskog naštrcavanja uz pomoć žice. Slikom 4. prikazan je postupak plinskog, odnosno plamenog naštrcavanja uz pomoć praška.



Slika 3. Postupak plinskog naštrcavanja uz pomoć žice

(Izvor: Filetin T., Grilec K.: postupci modificiranja i prevlačenja površina – priručnik za primjenu, Hrvatsko društvo za materijale i tribologiju, Zagreb, 2004., str. 15)



Slika 4. Postupak plinskog (plamenog) naštrcavanja uz pomoć praška

Izvor: Filetin T., Grilec K.: postupci modificiranja i prevlačenja površina – priručnik za primjenu, Hrvatsko društvo za materijale i tribologiju, Zagreb, 2004., str. 16

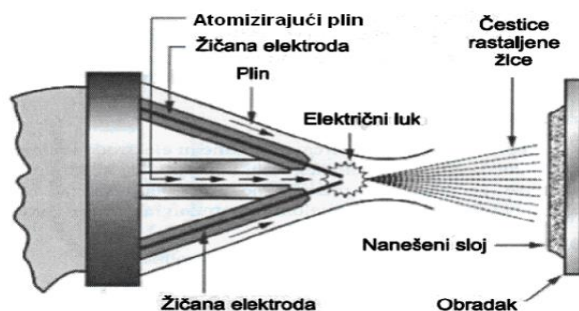
U procesu plinskog naštrcavanja, nosivi plin, odnosno kisik, pod tlakom dovodi prašak u direktan kontakt s plinskim plamenom. Prašak se potom rastaljuje u središtu plinskog plamena gdje su zapravo i najviše temperature, a samim time učinkovitost taljenja je najveća.

Stlačeni zrak ubrzava rastaljene čestice dodatnog materijala, a ujedno i fokusira plamen. Kod reparatura i malih serija proizvoda koriste se plinski pištolj koji ima integrirani spremnik praška koji se u spremnik dobavlja gravitacijski. Na mjestu ulaza u dobavni kanal djeluje podtlak uslijed strujanja dobavnog plina. Nedostatak ove konstrukcije pištolja jest velika osjetljivost na nagle promjene smjera i kuta naštrcavanja. Posljedica svega je veće rasipanje čestica po poprečnom presjeku plinskog plamena. Kvalitetniji je postupak kod robotiziranog plinskog naštrcavanja jer se giba radni komad, a ne pištolj ( Glogović 2013).

Ključne prednosti postupka svakako su jednostavnost rukovanja i niski troškovi procesa proizvodnje. Nadalje, postupkom naštrcavanja dobiva se manje ili više slojevita struktura, koju karakterizira velika poroznost. Primjena postupka moguća je i kod plastičnih materijala. S obzirom na prethodno navedeno, proizlazi kako je zapravo primjena o vakvog postupka uglavnom ograničena. Također, bitno je i napomenuti kako se plinsko naštrcavanje može podijeliti i prema načinu izvođenja. U tom slučaju, razlikuje se naštrcavanje bez naknadne toplinske obrade, zatim naštrcavanje s neposrednom toplinskom obradom i naštrcavanje s naknadnom toplinskom obradom (Glogović, 2013.).

### 3.1.2. Elektrolučno naštrcavanje

Sljedeći u nizu postupaka je elektrolučno naštrcavanje u kojem električni luk predstavlja izvor topline. Značajna prednost ovakvog postupka svakako je ekonomičnost cjelokupnog procesa. Za provođenje istog nisu potrebni gorivi procesni plinovi, a rukovanje je jednostavno. Važno je i napomenuti kako se glavna namjena očituje u katodnoj zaštiti od korozije (Gedzevicius i Valiulis, 2009.). U nastavku istraživačkog rada slikom 5. prikazano je elektrolučno naštrcavanje uz pomoć žice.



Slika 5. Elektrolučno naštrcavanje uz pomoć žice

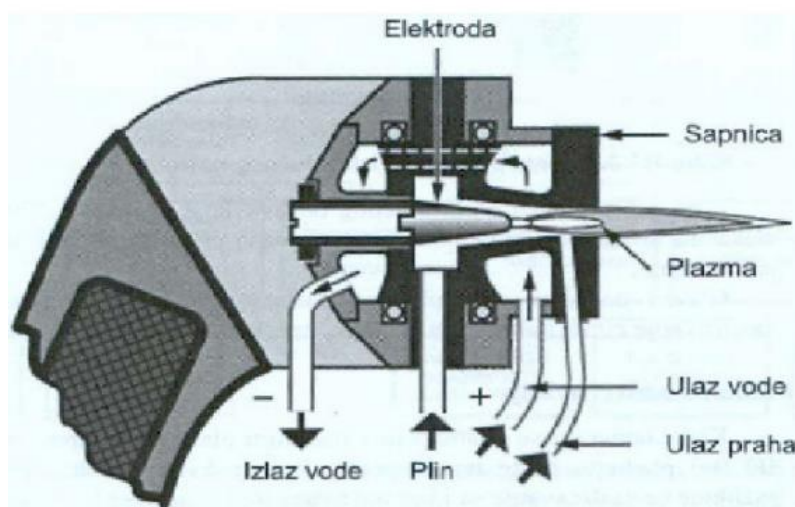
Izvor: Filetin T., Grilec K.: postupci modificiranja i prevlačenja površina – priručnik za primjenu, Hrvatsko društvo za materijale i tribologiju, Zagreb, 2004., str. 20



Naime, u ovom se postupku, između dvije spojene žice za naštrcavanje, a čiji je izvor istosmjerna struja, uspostavlja luk. Taj luk rastaljuje krajeve žica te se potom rastaljeni tekući materijal atomizirajućim plinom ubrzava u smjeru površine za naštrcavanje. U konačnici, neprekidnim se dovođenjem obiju žica uspostavlja, ali i održava stabilan proces. ( Filetin T. Grilec K. )

### 3.1.3. Plazma naštrcavanje

Plazma naštrcavanje vrlo je čest postupak toplinskog naštrcavanja, u kojem se koristi plazma pištolj s induktivnim pobuđivanjem plazme uz pomoć radio frekvencije. Takva se vrsta naštrcavanja uglavnom koristi za izradu dodatnog materijala u obliku praška. Provođenje ovog postupka u uvjetima sniženog apsolutnog tlaka uvjetovalo je i razvoj nekih od novijih postupaka, kao što su HPPS (*eng. High power plasma Spraying*) i UWPS (*eng. Underwater Plasma Spraying*). Bitno je i napomenuti kako je temperatura u plazmi daleko veća nego kod plinskog ili elektrolučnog naštrcavanja i iznosi 20 000 °C, a zahvaljujući tako visokoj temperaturi omogućeno je nanošenje slojeva teško taljenih materijala (Lugscheider, 2002.). Na slici 6 prikazano je plazma naštrcavanje.



Slika 6. Plazma naštrcavanje

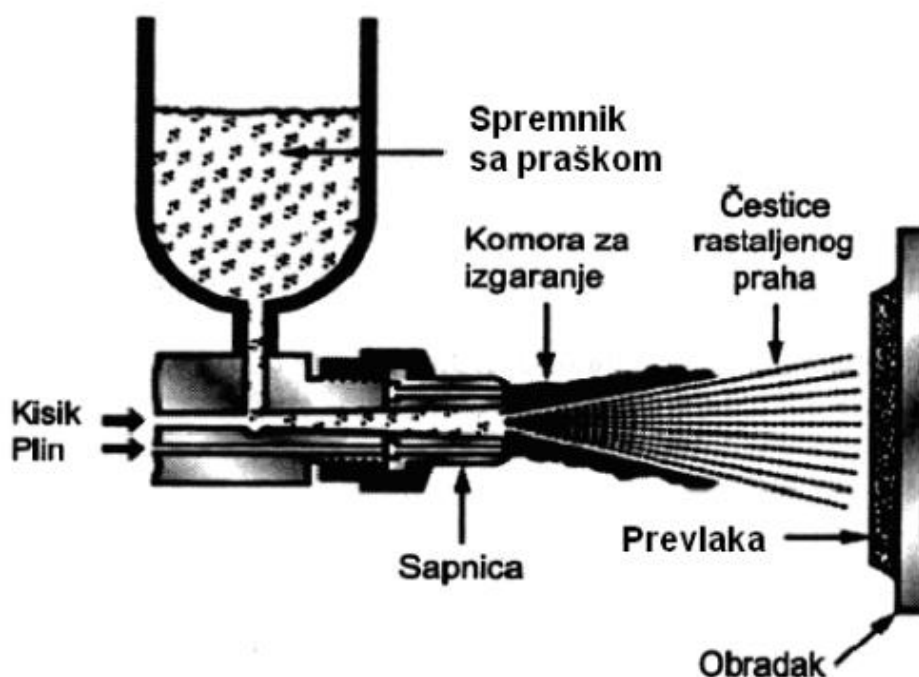
(Izvor: Filetin T., Grilec K.: postupci modificiranja i prevlačenja površina – priručnik za primjenu, Hrvatsko društvo za materijale i tribologiju, Zagreb, 2004., str. 23)

U postupku plazma naštrcavanja, prašak za naštrcavanje ubrizgava se u plazmu i tamo se velikim dijelom ili u potpunosti rastaljuje. Sam postupak odvija se u normalnoj atmosferi, odnosno u zaštitnoj atmosferi ili u zatvorenoj komori. Kao specifična obilježja ovog

postupka ističe se: mogućnost čišćenja površina lukom te zagrijavanje površine koja se obrađuje izbjegavanjem stvaranja oksidnog sloja. Argon, vodik, dušik, helij i njihove mješavine najčešće su korišteni plazma plinovi (Torcer, 2015.).

#### 3.1.4. Visokobrzinsko naštrecavanje plinskim plamenom - HVOF

Posljednji u nizu postupaka je visokobrzinsko naštrecavanje plinskim plamenom, poznato i pod nazivom HVOF (*eng. High velocity oxy – fuel*) čija se glavna karakteristika očituje u korištenju smjese goriva i kisika kao osnovnog principa izgaranja, ali i osnovnog izvora toplinske energije. U ovom se postupku zagrijavaju čestice praša te se ubrzavaju u onom smjeru površine koja se prevlači. Razlika između HVOF postupka i standardnog plinskog naštrecavanja je u tome što je kod HVOF postupka omogućena višestruko veća brzina plamena i čestica. Takva brzina u pravilu je 4 do 8 puta veća, za razliku od brzine koja se postiže kod plinskog naštrecavanja. Na slici 7 prikazano je visokobrzinsko naštrecavanje plinskim plamenom – HVOF (Filetin T., Grilec K. 2004.)



Slika 7. Visokobrzinsko naštrecavanje plinskim plamenom – HVOF

(Izvor: Filetin T., Grilec K.: postupci modificiranja i prevlačenja površina – priručnik za primjenu, Hrvatsko društvo za materijale i tribologiju, Zagreb, 2004., str. 27)

Kako je već prethodno spomenuto, proces izgaranja u HVOF postupku odvija se između goriva i kisika i to pod visokim tlakom. Nadalje, kao goriva obično se koriste propilen, vodik, acetilen, kerozin, propan i zemni plin. Izlazni vrući mlaz plina karakterizira nadzvučna brzina. Naime, brzina ekspanziranih praškova suvremenih uređaja doseže i do 2100 m/s, dok brzina čestica, ovisno o sastavu i materijalu, doseže i do 800 m/s. Ovisno o primjenjivom gorivu, temperatura samog plamena iznosi do 3200 °C (Filetin i Grilec, 2004.).

### **3.2. Namjena i principi provođenja postupaka**

Namjena, odnosno primjena toplinskog naštrcavanja zabilježena je u brojnim različitim industrijama. Tako se primjerice u automobilskoj industrijski, toplinsko naštrcavanje koristi za izradu ventila, lambde – sonde, dijelova mjenjačke kutije, kućište alternatora, vilice viličara, prstena klipa i drugih dijelova. S druge pak strane, u zrakoplovnoj industriji toplinsko se naštrcavanje koristi za izradu lopatica, diska ventilatora, komore izgaranja, kućišta i toplinskog štita. U proizvodnji kućanskih aparata, toplinsko se naštrcavanje koristi u izradi radne površine glačala i kućanskih tava za pečenje. U području strojogradnje značajna je primjena u proizvodnji kućišta pumpe, klipova, osovine i pneumatskih dijelova. Nadalje, u kemijskoj i farmaceutskoj industriji ovaj se postupak koristi za proizvodnju spremnika, klizača, kuglastih ventila i cijevi. U medicini za proizvodnju implantanata i proteza, a u industriji papira za proizvodnju valjaka i preše. U području tekstilne industrije koristi se za proizvodnju valjaka i vodilica, dok se u industriji stakla koristi za površine alata koje se štite od abrazivnog, toplinskog ali i korozivnog djelovanja. U elektroničkoj industriji koristi se za postupak naštrcavanja kontaktnih pločica izolacijskim prevlakama na bazi keramike, dok se u području brodogradnje primjenjuje u zaštiti različitih pogonskih agregata ( Filetin i Grilec, 2004. )

Odabir, ali i primjena određenog postupka ponajprije ovisi o karakteristikama slojeva, točnije o njegovoj gustoći, tvrdoći, debljini i slično, zatim o dijelovima koji će se prevlačiti te o rubnim uvjetima, mjestu prevlačenja i naravno troškovima. Elektrolučno i plinsko naštrcavanje primjenjuje se kod manje i srednje zahtijevanih slojeva. Plinsko i plazma naštrcavanje primjenjuje se kod onih slojeva kod kojih su prisutni veći zahtjevi. Bitno je i napomenuti kako se postupci osim po vrsti energije – toplinske i kinetičke energije rastaljenog materijala, razlikuju i po dosegnutim kvalitetama sloja. Iz navedenog proizlazi i kako svaki postupak ima svoje područje korištenja, te se prilikom svakog korištenja određeni

postupci međusobno nadopunjavaju. Na slici 8 prikazana su postupci toplinskog naštrcavanja i njihove temeljne značajke (Filetin i Grilec, 2004.).

Tablica 1. Postupci toplinskog naštrcavanja i njihove značajke

Izvor: Torer I.: Toplinsko naštrcavanje, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2015., str. 26

TEHNIKA NAŠTRCAVANJA	IZVOR TOPLINE	POGONSKO GORIVO	VRSTA DODATNOG MATERIJALA
ELEKTROLUČNO NAŠTRCAVANJE	Luk između elektroda	ZRAK	ŽICA
PLAZMA NAŠTRCAVANJE	Plazmeni luk	INERTNI PLIN	PRAŠAK
PLAZMA POD MALIM PRITISKOM	Plazmeni luk	INERTNI PLIN	PRAŠAK
RASPRŠIVANJE	-----	-----	PRAŠAK
PLAMENO NAŠTRCAVANJE	Elektrolitički plin	DETONANTNI VALOVI	PRAŠAK
HVOF DETONACIJSKI PIŠTOLJ	Kisik Acetilen Dušik	DETONANT-NI VALOVI	PRAŠAK
HVOF SULAZER METCO DJ PIŠTOLJ	Oxypropan Oyhydrogen Oxypropilen	ZRAK	PRAŠAK

Tablica 2. Postupci toplinskog naštrcavanja i njihove značajke

Izvor: Torer I.: Toplinsko naštrcavanje, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2015., str. 26

TEHNIKA NAŠTRCAVANJA	TEMP. NA IZLAZU IZ PIŠTOLJA °C	BRZINA ČESTICA m/s	MATERIJALI ZA NAŠTRCAVANJE	VLAČNA ČVRSTOĆA
ELEKTROLUČNO NAŠTRCAVANJE	6000	240	RASTEZLJIVI MATERIJALI	40 – 60 MPa
PLAZMA NAŠTRCAVANJE	16000	120-600	METAL, KERAMIKA, PLASTIKA I SPOJEVI	30 – 70 MPa
PLAZMA POD MALIM PRITISKOM	16000	900	METAL, KERAMIKA, PLASTIKA I SPOJEVI	>70 MPa
RASPRŠIVANJE	-----	-----	TALJIVI METALI	>70 MPa
PLAMENO NAŠTRCAVANJE	3300	240	METAL I KERAMIKA	20 -28 MPa
HVOF DETONACIJSKI PIŠTOLJ	4500	800	METAL, KERAMIKA, PLASTIKA I SPOJEVI	>70 MPa
HVOF SULAZER METCO DJ PIŠTOLJ	2800	1350	METAL I KERAMIKA	40 – 96 MPa

Tablicom 1. i 2 prikazane su osnovne tehnike naštrcavanja, a to su: elektrolučno naštrcavanje, zatim plazma naštrcavanje, plazma pod malim pritiskom, raspršivanje,

plameno naštrcavanje, HVOF detonacijski pištolj te HVOF Sulzer i METCO DJ pištolj. Ovim slikovitim prikazom usporedile su se sve tehnike, koje su teorijski analizirane u prethodnom poglavlju, prema sljedećim kriterijima: izvoru topline, pogonskom gorivu, vrsti dodatnog materijala, temperaturi na izlazu iz pištolja, brzini čestica, materijalima za naštrcavanje, vlačnoj čvrstoći te razini poroznosti. Najveću temperaturu na izlazu iz pištolja ima tehnika plazma naštrcavanja, a koja iznosi 16 000 °C. S druge pak strane, najveća brzina čestica koje izlaze iz sapnice zabilježena je kod HVOF naštrcavanja. Analizirajući vrstu dodatnog materijala, jasno se može zaključiti kako se kod svih postupaka primjenjuje prašak, osim kod elektrolučnog naštrcavanja u kojem se primjenjuje žica ( Filetin i Grilec, 2004. )

### **3.3. Svrha toplinskog naštrcavanja**

Kao temeljni cilj provođenja postupka toplinskog naštrcavanja ističe se povišenje otpornosti materijala na trošenje i zaštita od korozije. Međutim, uz prethodno spomenuto važno je istaknuti i dodatni cilj koji je svakako orijentiran na ekonomski učinak, i to u pogledu značajnijih ušteda uzrokovanih primjerice troškovima, raznim vrstama reparatura i slično. Nadalje, kao osnovni razlozi primjene toplinskog naštrcavanja ističu se sljedeći (Torer, 2015.):

- zaštita od korozije,
- povišenje otpornosti na određenu vrstu trošenja koje može biti izazvano brazdanjem, klizanjem, mlazom ili pak erozijom
- biokompatibilnost,
- toplinska izolacija,
- električna vodljivost i izolacija općenito,
- popravak, odnosno reparatura strojnih dijelova,
- trenutno korištenje,
- osnova za naknadni premaz bojom ili nanošenje na mjestu eksploatacije dijelova,
- zaštita veće površine,
- duži vijek trajanja (čak i do 20 godina),
- otpornost na vanjske uvjete,
- ekonomski aspekt u smislu ušteda.

Dakle, svrha toplinskog naštrcavanja je usmjerena na određivanje skupa procesnih parametara, poznatih i pod nazivom radne točke procesa, kako bi se dobila geometrijska, tribološka, korozijska i mehanička svojstva sloja, uz naravno maksimalnu učinkovitost

deponiranja kao i uz maksimalnu dobavu dodatnog materijala. Također, maksimizacija prethodno dvije spomenute komponente učinkovitosti posebice je zanimljiva budući da se time značajno smanjuju ukupni troškovi, ali i potrebno vrijeme za izradu sloja.

### **3.4. Primjena toplinskog naštrcavanja u poljoprivredi**

Dijelovi poljoprivredne tehnike za obradu tla su prilikom svoga rada izloženi trošenju tvrdim abrazivnim česticama koje su sastavni dio tla koje se obrađuje. Zbog navedenoga razloga, radna tijela poljoprivrednih strojeva se troše i pri tome mijenjaju svoj oblik i dimenzije. Uslijed promjene oblika i dimenzija dolazi do nepravilnog rada i povećanja otpora prilikom rada jer su radna tijela poljoprivrednih strojeva konstruirana da rade sa što manjim otporima. Trošenje radnih tijela poljoprivrednih strojeva dovode do povećanja financijskih troškova poljoprivrednika zbog potrebe zamjene istrošenih dijelova.

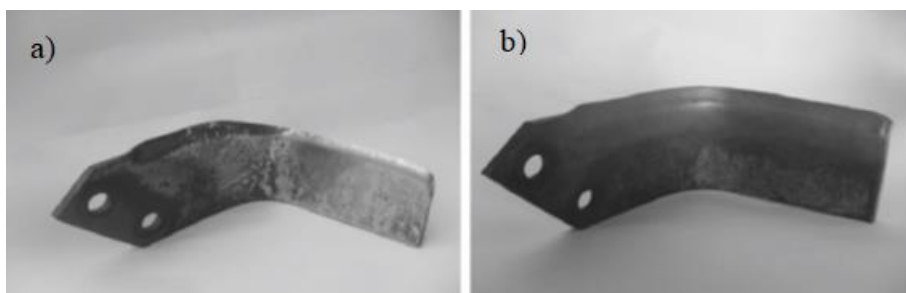
U cilju povećanja površinske tvrdoće i smanjenja trošenja dijelova poljoprivredne tehnike kao moguće rješenje provode se postupci toplinskog naštrcavanja na dijelovima izloženima trošenju.

#### *Primjena toplinskog naštrcavanja na frezi motokultivatora*

Motokultivator, koji se koristi kako bi se smanjilo ukupno utrošeno vrijeme, a isto tako i ljudski napor u pripremi tla. Pri konstantom korištenju kultivatora i dinamičnom opterećenju, noževi freze podvrgnuti su ekstremnom abrazivnom trošenju. Kao odlično rješenje ovog problema pokazalo se upravo toplinsko naštrcavanje koje je znatno produžilo vijek noževa.

U ovom primjeru primijenjeno je toplinsko naštrcavanje detonacijskim pištoljem 3 različita praha na podlozi niskougličnog čelika koji je prethodno toplinski obrađen kaljenjem i popuštanjem. Provedenim ispitvanjem na polju u suhom, tvrdom i pjeskovitom tlu utvrđeno je da sve tri nanese prevlake imaju znatno veću otpornost na trošenje od noževa na koje nisu nanese prevlake (Kang i sur. 2011.).

Na slici 9 prikazani su noževi motokultivatora a) bez nanese prevlake i b) sa nanesenom prevlakom. Iz slike je vidljivo značajno trošenje noža na koji nije nanese prevlaka.



Slika 8. Noževi freze motokultivatira (a - bez prevlake, b – sa nanesenom prevlakom)

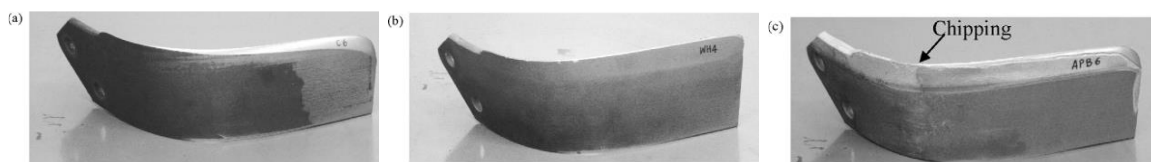
(Izvor: Kang i sur. 2011.)

### *Otpornost na trošenje noževa rotodrljače*

Rotodrljača je poljoprivredni stroj, koji se popularno koristi kako bi se smanjila količina vremena i rada utrošenog na pripremu tla. Trošenje noževa rotodrljače je vrlo veliko, posebno u pijeskovitim tlima, što utječe na njihov radni vijek.

U ovom primjeru provedeni su postupci HVOF toplinskog naštrcavanja i plazma naštrcavanja na noževima rotodrljače izrađenima od ugljičnog čelika koji je prethodno toplinski obrađen postupkom kaljenja i popuštanja. Ispitivanje trošenja provedeno je terenskim testom na suhom i pjeskovitom tlu. Rezultati ispitivanja pokazali su značajno veću otpornost na trošenje noževa na koji su nanese prevlake od ne prevučениh noževa (Karoonyboonyanan i sur. 2007.).

Na slici 10 prikazani su noževi rotodrljače a) bez nanese prevlake, b) i c) sa nanesenim prevlakama. Iz slike je vidljivo značajno poboljšanje prevučениh noževa u odnosu na noževe bez prevlake.



Slika 9 Noževi rotodrljače (a – bez prevlake, b – nanese prevlaka HVOF postupkom, c – nanese prevlaka postupkom plazma naštrcavanja )

(Izvor: Karoonyboonyanan i sur. 2007.)

Postupak toplinskog naštrcavanja moguće je primijeniti na svim čeličnim dijelovima radnih tijela poljoprivrednih strojeva, naročito onima koji su tijekom svoga rada u izravnom kontaktu sa tlom, na primjer: noževi freza, motokultivatora, noževi roto drljača, motičice kultivatora, raonici plugova, itd.



Slika 10. Raonik pluga

(Izvor: <https://www.psc-ferencak.hr/hr/obrada-zemlje/plugovi/olt/raonici/raonik-olt-orac-so-sa-kljunom>)



Slika 11. Motičica kultivatora

(Izvor: <https://www.agro-modus.hr/moticica-prednja-imt-samoostreca/>)

Iz navedenih primjera vidljivo je da je primjenom plamenog naštrcavanja različitim postupcima postignuto znatno smanjenje trošenja dijelova poljoprivrednih strojeva i kao takva se preporuča kao učinkovita zaštita od trošenja.



## 4. ZAKLJUČAK

U industriji, ali i u svakodnevnoj primjeni u kućanstvima, pojava degradacije materijala uzrokovana djelovanjem korozivskih mehanizma, vrlo je česta pojava. Naime, sam proces korozije ne može se zaustaviti, no međutim, primjenom odgovarajućih postupaka može se značajno usporiti do prihvatljive razine. Cilj postupka prevlačenja površina alata i konstrukcijskih dijelova je postizanje otpornosti na trošenje. Dodatno se određenim postupcima povisuje korozivska postojanost, otpornost na visokotemperaturnu oksidaciju te toplinski umor.

Postupak toplinskog naštrcavanja jedan je od vodećih mehanizama u ovom slučaju. Relativno noviji postupak nastao je s ciljem zaštite konstrukcija, ali i određenih strojnih dijelova od utjecaja različitih čimbenika. Osim tog cilja, fokus primjene mehanizma bio je usmjeren na produljenje eksploatacijskog vijeka konstrukcija i strojeva. U procesu toplinskog naštrcavanja postoji širok raspon materijala koji se mogu naštrcavati, ali i širok raspon modificiranja i prevlačenja površina. Glavna karakteristika provođenja samog postupka očituje se u tome da rastaljene ili djelomično rastaljene čestice materijala sloja ne tale materijal podloge prilikom dodira, već dolazi samo do zagrijavanja površine. Iz navedenog proizlazi i sljedeće, a to je da primjena ovog postupka ne dovodi do promjena u području mikrostrukture ili kemijskog sastava same podloge. Također, svojstva sloja mogu se prilagoditi sukladno potrebnoj primjeni.

U današnje se vrijeme tehnologija naštrcavanja dijeli u pet osnovnih postupaka, čije se razlike očituju ne samo po izvoru energije, već i po ostvarenoj toplinskoj, ali i kinetičkoj energiji naštrcanih čestica.

Dakle, za učinkovitost pojedinog procesa ključno je poznavanje problematike materijala koji se naštrcava, usklađivanje parametara te pripremanje površine naštrcavanja kako ne bi došlo do odljepljivanja naštrcanog sloja.

## LITERATURA

1. Christopher C., Berndt Ghislain M.: Thermal Spray: Preserving 100 Years Of Technology, Journal of Thermal Spray Technology, Vol. 15, No. 1, 2006., str. 5-8
2. Davis J.R.: Handbook of Thermal Spry Technology, ASM International, USA, 2004., str. 3-5
3. Fauchais P., Vardelle A.M.: Thermal Spray Coatings, University of Limoges, Limoges, 2007., str. 1
4. Filetin T., Grilec K.: postupci modificiranja i prevlačenja površina – priručnik za primjenu, Hrvatsko društvo za materijale i tribologiju, Zagreb, 2004., str. 15-27
5. Gedzevicius I., Valiulis A.V.: Analysis of Wire Arc Spraying Process variables on coatings properties, Achievements in Mechanical & Materials Engineering, Lithuania, 2009., str. 339-342
6. Glogović Z.: Utjecaj parametara plinskog naštrecavanja na svojstva nanešenog sloja, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2010., str. 13
7. Kang A. S, Grewal J.S., Jain D., Kang S.: Wear Behavior of Thermal Spray Coatings on Rotavator Blades, Journal of Thermal Spray Technology, 21, 2012., str. 355 - 359
8. Karoonboonyanan S., Salokhe V. M., Niranatlumpong P.: Wear resistance of thermally sprayed rotary tiller blades, Wear, 263, 2007., str. 604 - 608
9. Landek D., Cajner F.: Postupci prevlačenja površina, podloge za vježbu, Sveučilište u Zafrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2011., str. 1
10. Lugscheider E.: Handbuch der thermischen Spritztechnik, DVS – Verlag, Düsseldorf, 2002., str. 39-42
11. Pawlowski L.: The Science and Engineering of Thermal Spray Coatings, Second Edition, J. Wiley & Sons, New York, 2007., str. 88
12. Torer I.: Toplinsko naštrecavanje, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2015., str. 18-20

### *Popis internetskih izvora:*

What is Thermal Spray?, dostupno na: <https://www.fst.nl/about/thermal-spray-process-what-is-thermal-spray/> (30.05.2020.)

What is Thermal Spray?, dostupno na: <https://www.twi-global.com/technical-knowledge/faqs/faq-what-is-thermal-spraying> (02.06.2020.)

Thermal Spray Process, dostupno na: <https://www.thermalspray.com/5-types-of-thermal-spray-coating-processes-you-should-know/> (10.06.2020.)

Plameno naštrcavanje, dostupno na:

<https://www.titansisak.hr/PlamenoNastrcavanje.html> (15.06.2020.)

<https://www.psc-ferencak.hr/hr/obrada-zemlje/plugovi/olt/raonici/raonik-olt-orac-so-sa-kljunom> (23.06.2020.)

<https://www.agro-modus.hr/moticica-prednja-imt-samoostreca/> (28.06.2020.)