

# Dodajni materiali za navarjanje in nabrizgavanje

Niko BAJEC, Klemen POMPE, Janez TUŠEK

**Izvleček:** Članek podaja pregled dodatnih materialov za navarjanje in nabrizgavanje. To sta dva precej podobna, a kljub vsemu različna izdelovalna postopka. S primernim dodatnim materialom lahko, z omenjenima postopkoma, obnovimo obrabljene strojne elemente, ali na njihovih, navadno kritičnih, najbolj obremenjenih mestih oplemenitimo površino osnovnega materiala. S tem strojnim elementom izboljšamo obratovalne lastnosti in podaljšamo njihovo uporabno dobo. To je z ekonomskega in tehnološkega vidika zelo učinkovit način izboljšanja učinkovitosti posameznih strojnih operacij in celotne izdelovalne proizvodnje. Dodajni materiali so razdeljeni glede na kemično sestavo, namen uporabe, zunanjo obliko in uporabljeni postopek. Poznamo več različnih postopkov nabrizgavanja in navarjanja. Izbira dodatnega materiala ter izbira načina obravnavanih postopkov sta odvisna od vrste osnovnega materiala, potrebnih lastnosti navara, namena navarjanja oziroma nabrizgavanja in vrste drugih dejavnikov.

**Ključne besede:** dodajni materiali, navarjanje, nabrizgavanje, metalizacija, obločni procesi, laserski procesi, plazemski procesi, plamenski procesi

## ■ 1 Uvod

Navarjanje in nabrizgavanje sta dve različni izdelovalni tehnologiji, pri katerih na površino strojnega elementa naneseemo nov material, s katerim obnovimo obrabljeno površino ali izboljšamo lastnosti površine novega izdelka. Navarjanje je proces, pri katerem z energijo (obločno, plazemsko, lasersko, plamensko) raztalimo površino osnovnega elementa in dodatnega materiala, ki se med seboj razmešata in ohladita, strdita ter tvorita navar. Pri nabrizgavanju pa se raztali le dodajni material, osnovni se le ogreje do temperature pod tališčem, da se lažje spaja z raztaljenim dodatnim materialom. Obe tehnologiji spadata med tehnologije metalizacije. Metalizacija je zelo široko področje. V to skupino štejemo

vse tehnologije in tehnike, pri katerih na strojni element na tak ali drugačen način naneseemo novo kovino ali kovinsko keramiko. Mednje štejemo poleg navarjanja in nabrizgavanja tudi galvanske tehnike, najrazličnejše plazemske tehnike, razne druge elektrokemične procese in podobno.

Mehatronske in najrazličnejše mehanske ter drugi strojni sistemi so med delovanjem izpostavljeni zelo različnim mehanskim, toplotnim, kemičnim in drugim obremenitvam in s tem obrabi ter poškodbam. S poškodbami zaradi obrabe se srečamo na vodilih, drsnih ležajih, vrtečih se gredeh, zobnikih, lopaticah turbin in črpalk, na zelo različnih orodjih za delo pri sobnih, pri nizkih in na orodjih za delo pri visokih temperaturah.

Te poškodbe lahko saniramo samo z navarjanjem ali z nabrizgavanjem. Lahko pa oba postopka uporabimo za izboljšanje mehanskih in drugih lastnosti novim strojnim elementom, da preprečimo nastanek poškodb in jim podaljšamo uporabno dobo.

Z navedenima postopkoma lahko torej izboljšamo mehanske, kemične, električne, toplotne, absorpcijske in druge fizikalne lastnosti različnim strojnim, električnim in drugim elementom.

Z navarjanjem srebra ali bakra na električne kontakte na primer izboljšamo kontaktno prevodnost in življenjsko dobo celotnemu električnemu elementu. Drsne lastnosti izboljšamo z nabrizgavanjem kositra na drsne površine drsnega ležaja. Obrabno obstojnost elementom gradbenih strojev, po katerih se giblje gradbeni material, izboljšamo z navarjanjem zelo trdih plasti. Z navarjanjem nerjavnih jekel na navadna konstrukcijska jekla lahko izboljšamo korozijsko obstojnost in podobno.

Zakaj torej navarjamo in zakaj že v osnovi ne izberemo primernejšega materiala? Prvi vzrok izhaja iz ekonomskega vidika, saj za osnovo uporabimo preprostejši in cenejši material. Zaželene lastnosti na strojnem elementu dosežemo z navarjanjem in nabrizgavanjem.

Niko Bajec, univ. dipl. inž., BAVAVTO, d. o. o., Ajdovščina; Klemen Pompe, univ. dipl. inž., TKC, d. o. o., Ljubljana; prof. dr. Janez Tušek, univ. dipl. inž., Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo



**Slika 1.** Makroobrus navara, izdelanega z laserskim žarkom in z žico premera 0,5 mm; s stopnjo prekrivanja predhodnega varka 20 % [1].

Drugi vzrok pa je, da navarjeni material zelo pogosto nima primernih mehanskih lastnosti, ki jih mora imeti celotni element in ga zato ne moremo uporabiti kot osnovni material. Na primer, kadar mora strojni element prenašati dinamične obremenitve in je njegova površina obremenjena na obrabo z abrazivnim medijem. Osnovni material mora imeti visoko žilavost, njegova površina pa obrabno obstojnost. To dosežemo z navarjanjem ali nabrizgavanjem.

Poleg teh dveh tehnologij lahko nekatere površinske lastnosti materialov izboljšamo tudi z drugimi znanimi galvanjskimi prevlekami, s postopki PVD, postopki CVD itd. V večini navedenih postopkov metalizacije dobimo zelo tanke nanose. Pri navarjanju ali pri nabrizgavanju pa lahko dosežemo bistveno debelejšje sloje, skoraj poljubno debele.

Na *sliki 1* je prikazan makroobrus navarjene površine. Debelina navara je le 0,12 mm. Izdelan je z laserskim žarkom in z žico premera 0,5 mm. To je zelo tanka plast navarjenega materiala. Tanjšje z navarjanjem skoraj ne moremo doseči. Stopnja razmešanja je zelo nizka, kar je ugodno. Na ta način navarjamo zelo »posebne« materiale, na primer volfram, cirkonij, molibden in podobno.

## ■ 2 Fizikalne in druge lastnosti navarov

Zaželene lastnosti navarov na osnovnih materialih oziroma na strojnih elementih so zelo različne. Odvisne so predvsem od namena uporabe strojnega elementa. V številnih primerih želimo izdelati navare s čim večjo obrabno obstojnostjo, v nekaterih dobro električno

prevodnost, v tretjih dobro toplotno prevodnost, v četrth visoko trdoto in v petih dobro korozijsko odpornost. V splošnem velja, da so fizikalne in številne druge lastnosti navarov različne od fizikalnih lastnostih osnovnih materialov.

**Trdota** navara je ena od pomembnejših in pogosto zelo zaželenih lastnosti navarov. Odvisna je od kemične sestave dodatnega in osnovnega materiala ter od načina hlajenja oziroma odvoda toplote iz navara po zaključku navarjanja. Povečano trdoto želimo največkrat doseči pri navarih, ki ščitijo osnovni material pred zunanjimi mehanskimi vplivi, da bi dosegli odpornost proti obrabi. Zato moramo izbrati dodatne materiale z večjo vsebnostjo ogljika, volframa, molibdena, vanadija in kroma.

Na trgu se dobi zelo veliko različnih dodatnih materialov za različne postopke navarjanja, ki so namenjeni za navare z visoko trdoto. Ti dodatni materiali navadno vsebujejo od 3 % do 4 % ogljika in od 10 % do 30 % kroma.

Visoka **trdnost** in **žilavost** navarov je poleg trdote skoraj vedno zahteva navarjenih in nabrizganih plasti. Tudi ti dve lastnosti lahko dosežemo z ustrežno izbiro dodatnih materialov. Ti morajo vsebovati zelo različne legirne elemente. Trdnost povečujejo predvsem ogljik, mangan, krom, molibdenom itd. Žilavost poleg prej naštetih elementov najbolj poveča nikelj. Z večanjem žilavosti navara se večja tudi odpornost na udarce in odpornost na zlom zaradi utrujenosti.

**Kemična odpornost** strojnih elementov je pogosta potreba v industrijski praksi. Z navarjanjem ali

nabrizgavanjem lahko kemično odpornost navarjenih in nabrizganih plasti dosežemo z dodatnim materialom. Največjo kemično odpornost dosežemo z deležem kroma v materialu. Čim več je kroma, tem bolj je material kemično odporen. Seveda so pomembni tudi drugi kemični elementi. Pri izbiri dodatnega materiala za varjenje kemično odpornih navarjenih plasti moramo paziti, da je dodatni material zadosti legiran. Pri varjenju je treba tudi paziti, da krom, ki ima sicer veliko afiniteto do kisika, med varjenjem ne odgori in se ne upari.

**Obrabna obstojnost** je lastnost površin strojnih elementov, ki pove, koliko časa potrebujemo, da se s trenjem obrabi površina. Merimo jo v volumenskih ali masnih vrednostih. Dobro obrabno obstojnost navarjenih plasti dosegamo z veliko trdoto in raznimi karbidi in nitridi v površini. Karbidotvorni elementi so volfram, krom, vanadij, kobalt, titan itd.

**Drsnost** je lastnost materiala, ki pove, kako kak predmet drsi po površini drugega predmeta. Čim manjše je trenje med dvema predmetoma, večja je drsnost. Visoko stopnjo drsnosti želimo predvsem za ležajne površine drsnih ležajev. Z nabrizgavanjem na ohišje ležajev nanašamo ležajne zlitine, ki morajo imeti čim boljše drsnost. To so predvsem zlitine na podlagi kositra.

**Obdelovalnost** je fizikalna lastnost, ki je močno povezana s trdoto in žilavostjo navarov. Medtem ko je določene navare mogoče strojno obdelovati z odrezovanjem, se z večanjem trdote in žilavosti materiala to močno oteži. Z modernimi rezilnimi orodji in napravami se že lahko obdelujejo tudi jekla trdote nad 60 HRC. Zelo trde materiale in vare obdelujemo z brušenjem. Obstajajo tudi določeni materiali za navarjanje, ki jih je pri povišanih temperaturah mogoče obdelovati, ko pa se varjenec ohladi, to ni več mogoče. Obdelovalnost varov je otežena tudi pri materialih, ki vsebujejo veliko kompleksnih karbidov, ki so dobro obrabno odporni, kot so na primer steliti.

**Druge lastnosti** navarov so električna in kontaktna prevodnost, toplotna prevodnost, linearni temperaturni razteznostni koeficient in še nekatere druge manj pomembne.

### ■ 3 Delitev dodajnih materialov

V uvodu smo zapisali, da dodajne materiale delimo po različnih merilih. Najpogostejša delitev je glede na kemično sestavo, glede na namen uporabe, glede na uporabljeni postopek in glede na zunanjo obliko, ki pa je v veliki meri odvisna od vrste izbranega postopka.

#### ■ 3.1 Delitev glede na kemično sestavo

V osnovi delimo dodajne materiale na železne in neželezne kovine in njihove zlitine. Ti pa se potem delijo še glede na prevladujoči element in glede na dodane kemične elemente.

##### ■ 3.1.1 Dodajni materiali iz neželeznih kovin in zlitin

Od neželeznih dodajnih materialov se največ uporabljajo ležajne zlitine, steliti, nikelj in njegove zlitine ter baker in njegove zlitine. Ostale neželezne kovine, kot sta cink in aluminij, uporabljamo predvsem za korozijsko zaščito jeklenih elementov, medtem ko titan in njegove zlitine le redko uporabljamo kot dodajni material za navarjanje in nabrizgavanje. Srebrove zlitine se uporabljajo za navarjanje električnih kontaktov.

Steliti so zlitine na podlagi kobalta in kroma z dodanimi legirnimi elementi volframa, molibdena, bora, niklja, železa itd. Vsebujejo kompleksne karbide, predvsem kromove, ki so porazdeljeni v relativno mehki osnovi kobalta in kroma. Večinoma so nemagnetni in imajo majhno trdoto, a izjemno veliko odpornost na obrabo in korozijo ter visoko stopnjo žilavosti. Obstajajo pa tudi steliti z veliko trdoto, ki jih uporabljamo za navarjanje orodij za obdelavo kovin.

Nikelj in njegove zlitine so zelo primerni in pogosto uporabni za navarjanje. Njihova dobra lastnost je dobra varivost, dobra topnost v številnih drugih kovinah in odlična korozijska odpornost v številnih medijih in pri različnih temperaturah. Zlitine na podlagi niklja uporabljamo predvsem za navarjanje orodij za izdelavo steklenih izdelkov. Najbolj znane nikljeve zlitine za navarjanje so inconeli. Med temi za steklarstvo uporabljamo inconel 718, ki ima dobro korozijsko in obrabno obstojnost in večjo trdoto kot ostali inconeli.

Baker in njegove zlitine so dobri električni in toplotni prevodniki, nekatere zlitine pa imajo tudi dobre drsne lastnosti. Bakrovo zlitino s cinkom imenujemo med, bakrove zlitine z drugimi elementi pa broni.

Dodajni materiali, ki poleg bakra vsebujejo še mangan, nikelj in aluminij, so prava izbira za navarjanje, kjer potrebujemo dobro korozijsko odpornost ter odpornost na erozijo in kavitacijo. Navari imajo veliko trdnost in so zaradi navedenih lastnosti zelo primerni za navarjanje ladijskih propelerjev, vodil turbin, ohišij črpalk itd.

Specialni dodajni materiali na podlagi bakra, legiranega s silicijem, železom in aluminijem, dosegajo velike trdote, tudi do 400 HB. Poleg tega imajo še odlične drsne in obrabno odporne lastnosti, zato se uporabljajo za navarjanje orodij za globoki vlek ter za ležaje, ki so podvrženi visokim tlakom. Orodja, ki jih navarjamo, so lahko jeklena ali na podlagi bakra.

Dodajni materiali na podlagi bakra, legiranega z nikljem, silicijem in kromom, imajo odlično toplotno prevodnost, obrabno in kemično odpornost, zato jih uporabljamo za navarjanje orodij za brizganje plastike, gume itd. So tudi odlična alternativa berilijevemu bronu.

Ležajne zlitine so navadno iz mehkih kovin z nizkim tališčem in majhno trdoto, imajo pa dobre drsne lastnosti in majhno obrabo. Naj-

pogosteje so iz kositra in svinca, zato jih imenujemo bele kovine. Na osnovni strojni element jih največkrat nabrizgavamo plamensko in v zadnjem obdobju tudi z nabrizgavanjem v hladnem.

##### ■ 3.1.1 Dodajni materiali na podlagi železa

Osnovni elementi za navarjanje so največkrat izdelani iz konstrukcijskega jekla, kar je najpogosteje cenovno ugodno. Ti materiali so lahko dobavljivi in so enostavni za obdelavo in predelavo in imajo navadno dobro varivost. Na površino teh jekel navarjamo razna orodna in nerjavna jekla, s katerimi lahko dosežemo boljšo korozijsko obstojnost materiala, tršo oziroma bolj obstojno obrabno površino, ki bo tudi bolj obstojna pri povišanih temperaturah itd.

Z navarjanjem orodnih jekel lahko pogosto izboljšamo njihove lastnosti, predvsem tam, kjer je to treba. Na primer, na orodjih za tlačno litje barvnih kovin ali na orodjih za brizganje plastike lahko z določenimi dodajnimi materiali samo na posameznih mestih na orodjih izboljšamo obrabno odpornost orodja ali zvišamo stopnjo žilavosti ali pa izboljšamo odvod toplote in podobno. Težava pri orodnih jeklih je, da je pogosto treba navarjanje ali nabrizgavanje izvesti, ko je orodje že toplotno obdelano. Toplotno obdelana orodja imajo namreč zelo slabo varivost.

Dodajni materiali na podlagi železa, ki zvišajo obrabno odpornost, so osnovani na večjem odstotku ogljika in karbidotvornih legirnih elementih, kot so volfram, molibden vanadij itd. Vsebnost legirnih elementov mora biti takšna, da z navarom dosežemo primerno trdoto, saj varjena orodja navadno ne dopuščajo kasnejših toplotnih obdelav za zviševanje trdote, na primer kaljenja.

Za navarjanje zelo trdih slojev za zvišanje obrabne obstojnosti materiala uporabljamo dodajne materiale, ki so močno legirani z ogljikom in kromom, imajo pa lahko dodane tudi druge legirne elemente, kot so

molibden, niobij, volfram in vanadij. Nekateri tako navarjeni sloji so lahko tudi dobro odporni na udarce, medtem ko z dodatnim materialom, legiranim z manganom, ob udarcih dosežemo še utrjevanje navara [1–6].

### ■ 3.2 Delitev dodajnih materialov glede na namen uporabe

V katalogih proizvajalcev dodajnih materialov zelo pogosto naletimo na razdelitev glede na namen uporabe. Poznamo dodajne materiale za navarjanje orodij za delo v hladnem in za delo v vročem.

#### ■ 3.2.1 Strojni elementi za rabo v predelovalni industriji

Na področju predelovalne industrije uporabljamo zelo različna orodja, pripomočke, vpenjalne priprave, gredi, ležaje, tirnice, zobnike in podobno. Večina teh strojnih elementov je izdelanih iz različno legiranih jekel, nekateri tudi iz železovih litin, tretji iz neželeznih kovin in zlitin. Med uporabo se obrabljajo, razpokajo, poškodujejo in izrabijo. Navarjanje in nabrizgavanje sta skoraj edini tehnologiji, s katerima je izrabljene dele možno sanirati in ponovno usposobiti za delo.

**Orodja za delo v hladnem** so izdelana iz visoko legiranih jekel in so toplotno obdelana. Ta orodja večinoma delujejo pri sobnih temperaturah in do temperature 260 °C. Dodajni materiali za sanacijo teh orodij vsebujejo visok odstotek ogljika, ki zagotavlja visoko stopnjo trdote in dobro obrabno odpornost. Drugi legirni elementi so še krom, mangan, molibden in vanadij. Nekaterim dodajnim materialom, namenjenim za navarjanje hitroreznih jekel, so dodani še volfram in drugi karbidotvorni elementi, vsebujejo pa še vsaj en odstotek ogljika ter nekaj molibdena in vanadija. Navari morajo imeti tudi dobro dimenzijsko stabilnost. Dodajni materiali za orodna jekla za delo v hladnem se uporabljajo predvsem za navarjanje nožev, škarij, orodij za štanice, matrice za upogibanje in preoblikovanje itd.

**Orodja za delo v vročem** obrabljajo pri zvišanih temperaturah. Njihova glavna lastnost je, da tudi pri temperaturah okoli 540 °C še ne popuščajo in ohranjajo visoko stopnjo trdote. Relativno nizek odstotek ogljika v dodajnih materialih povečuje žilavost navarov, vsebujejo pa do 5 % kroma in tudi dodatke molibdena, vanadija, volframa in mangana. Ker navarov navadno ne smemo toplotno obdelovati, z izjemo toplotne obdelave za odpravo notranjih napetosti, so zato različno legirana. Tako dobimo širok spekter trdot in žilavosti navarov. Kateri dodajni material izbrati, je odvisno od trdote orodja, namena uporabe, kasnejše mehanske obdelave in tudi od mesta varjenja na orodju.

**Tirnice, gredi, zobniki** so strojni elementi, ki so med obratovanjem obremenjeni z dinamično mehansko silo in se obrabljajo zaradi trenja na stičnih površinah. Tirnice navarjamo predvsem z manganskimi jekli, ki se z deformacijo utrjujejo. Zobnike in zobate letve navarjamo s krom molibdenovim jeklom ali pa z bronji. Najprimernejši so berilijevi ali nikljevji bronji.

Pr navarjanju jekla in jeklenih litin navadno želimo poleg drugih specifičnih mehanskih lastnosti doseči ustrezno trdoto navara. V tem smislu so dodajni materiali razdeljeni med tiste za srednje trdo, trdo in zelo trdo navarjanje.

Za srednje trdo navarjanje takih strojnih delov uporabljamo dodajne materiale, ki so legirani s kromom do 1,3 % in mangana do 1,5 %, kar ustvari žilav in obrabno odporen navar s trdoto do 300 HB, ki ga je možno mehansko obdelovati.

Tudi za trdo navarjanje uporabljamo dodajni material, ki je legiran s približno 1,3 % kroma in 1,7 % mangana. V navaru je tudi do 0,25 % ogljika, kar je tudi vzrok, da dosežemo trdoto do 450 HB. Navari so tudi žilavi, odporni proti obrabi in udarcem ter jih je mogoče mehansko obdelovati.

Pri dodajnih materialih za zelo trdo navarjanje je bistvena prisotnost ogljika in kroma ob še nekaterih drugih legirnih elementih, kot so mangan, molibden ter silicij. Kombinacije legirnih elementov so odvisne od specifičnih potreb [1–12].

#### ■ 3.2.2 Strojni elementi v gradbeništvu

Večina strojnih elementov je v gradbeništvu podvrženih veliki mehanski dinamični obremenitvi in veliki obrabi. Večina gradbenih materialov je zelo abrazivnih, kar povzroča veliko trenje in veliko obrabo.

**Deli bagrov, pnevmatičnih kladiv in drugih delov gradbenih strojev** so močno obremenjeni z utripnimi silami in s trenjem med gradbenim materialom in kovino.

Za zelo trdo navarjanje takih strojnih delov uporabljamo dodajni material, legiran z okoli 0,5 % ogljika, do 2,3 % kroma in do 2 % mangana, lahko pa tudi samo z 8,5 % kroma. Možna je tudi uporaba materiala, legiranega z 1 % molibdena in s približno 3 % silicija. Če imajo navari poleg navedenih elementov še 0,5 % ogljika, lahko trdota preseže tudi 60 HRC. Ti navari nimajo visoke stopnje žilavosti, so pa kljub temu odporni proti udarcem in sunkovitim obremenitvam.

**Lopaticice in strgala mešalcev, polžev ter delov stiskalnic za opeko in beton, potisnih polžev ekstruzijskih stiskalnic za glino, lijakov in vsipnih jaškov** so strojni elementi, ki so med delovanjem podvrženi predvsem močni abraziji pri sobni in pogosto tudi pri zvišani temperaturi. Dodajni material za navarjanje teh elementov mora zagotoviti navare, ki so primerni za delo do temperature 500 °C. Navari morajo biti legirani s približno 26 % kroma in 7,5 % niobija ali pa s približno 9,5 % kroma in 2 % molibdena, hkrati pa je v navaru lahko tudi do 0,6 % ogljika. Navari imajo trdoto okoli 67 HRC, kar pomeni, da obdelava ni mogoča drugače, kot z brušenjem.



**Žrela oklepov in plaščev rotacijskih drobilcev ter oklepni plošč** so deli strojev, ki so izpostavljeni udarcem, abraziji in drugim mehanskim obremenitvam. Vsi dodatni materiali za sanacijo opisanih elementov morajo imeti veliko vsebnost mangana. Običajna je njegova vsebnost do 20 %. Poleg mangana so legirani do vsebnosti 13,5 % kroma, 3,7 % niklja, 0,7 % molibdena in do 2,3 % niobija. Vsebnost ogljika v navaru ne presega 1 %. Navare odlikuje velika odpornost proti udarcem, trenju kovina-kovina in po hladnem utrjevanju tudi odpornost proti abraziji. Za te navare je značilno, da jih je mogoče pred utrjevanjem mehansko obdelovati, trdota pa ne preseže 50 HRC. Ti dodatni materiali se lahko uporabljajo tudi za navarjanje sedežev zapornih zvonov visokih peči, batov hidravličnih stiskalnic ter tračnic.

### ■ 3.2.3 Strojni elementi v energetiki

Na energetskem področju so strojni elementi obremenjeni z mehansko silo in s tem obrabo ter pogosto z zelo visokimi ali zelo nizkimi temperaturami, kar močno poveča obrabo.

**Deli parnih turbin, sedeži ventilov motorjev z notranjim zgozrevanjem, površine raznih šob, tesnilne površine raznih armatur** morajo biti pogosto sanirani z navarjanjem ali nabrizgavanjem. To so strojni deli, ki so mehansko obremenjeni pri zvišani temperaturi. Od navarjenega sloja se zahteva odpornost proti abraziji ali močnemu trenju pare ob kovino ali celo kovine ob kovino pri temperaturah, ki občasno dosežejo tudi 1100 °C. Dodatni materiali so izdelani na podlagi niklja ali kobalta ali kroma z dodatki volframa, molibdena in drugih elementov. Navarjeni sloj vsebuje do 30 % kroma, okoli 12,5 % volframa, ostali delež pa je pogosto kobalt ali nikelj. Navarjeni sloji so zelo žilavi s trdoto do 55 HRC in so zelo težki za obdelavo z odrezovanjem. Lahko pa jih brusimo.

Navari, izdelani iz prej naštetih materialov, so odporni na abrazijo, erozijo, korozijo pri zvišani tempe-

raturi, na kavitacijo in na obrabo pri trenju kovine ob kovino.

**Strojne dele, ki obratujejo v agresivnih medijih, pri zvišani temperaturi in so izpostavljeni obrabi**, prav tako pogosto srečamo na energetskem področju. Za navare na teh elementih, ki morajo biti dobro obrabno in kemično odporni, se uporabljajo predvsem steliti in inconeli, ki smo jih delno že opisali pod točko 2. Te dodatne materiale uporabljamo predvsem tam, kjer so navari izpostavljeni močni obrabi, udarcem, agresivnemu mediju in zvišani temperaturi.

### ■ 3.3 Delitev dodatnih materialov glede na zunanjo obliko

Dodatni materiali za navarjanje in nabrizgavanje se na trgu dobijo v obliki oplaščenih paličnih elektrod, v obliki masivnih žic, navitih na kolut, v obliki masivnih palic, najpogosteje dolgih en meter, v obliki strženskih žic, navitih na kolut, v obliki strženskih palic, v obliki trakov in v obliki prahu. Oblika dodatnega materiala je v tesni povezavi s postopkom navarjanja in nabrizgavanja [1–6].

### ■ 3.4 Delitev dodatnih materialov glede na postopek navarjanja in nabrizgavanja

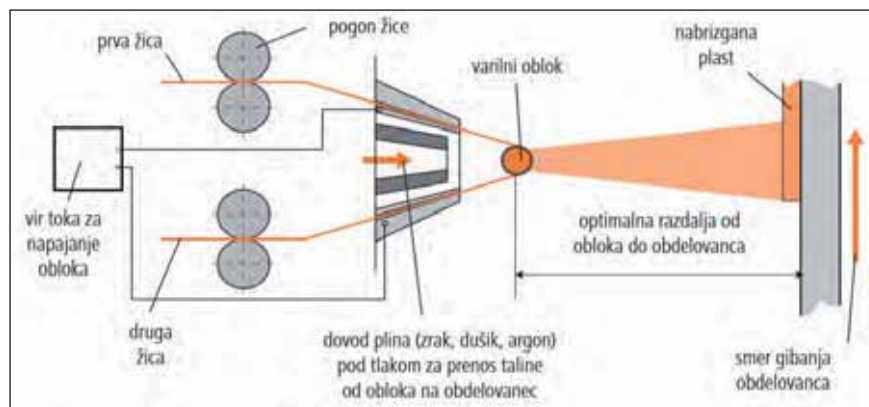
Podobno, kot smo razdelili dodatne materiale glede na obliko, jih lahko razdelimo glede na postopek. Oplaščena palična elektroda

je namenjena samo za ročno obločno navarjanje. Strženske žice lahko uporabljamo za več obločnih postopkov, za navarjanje s plazmo in za navarjanje z laserjem. Varilni prah lahko uporabljamo predvsem za plamensko in plazemsko navarjanje ter nabrizgavanje [7–20].

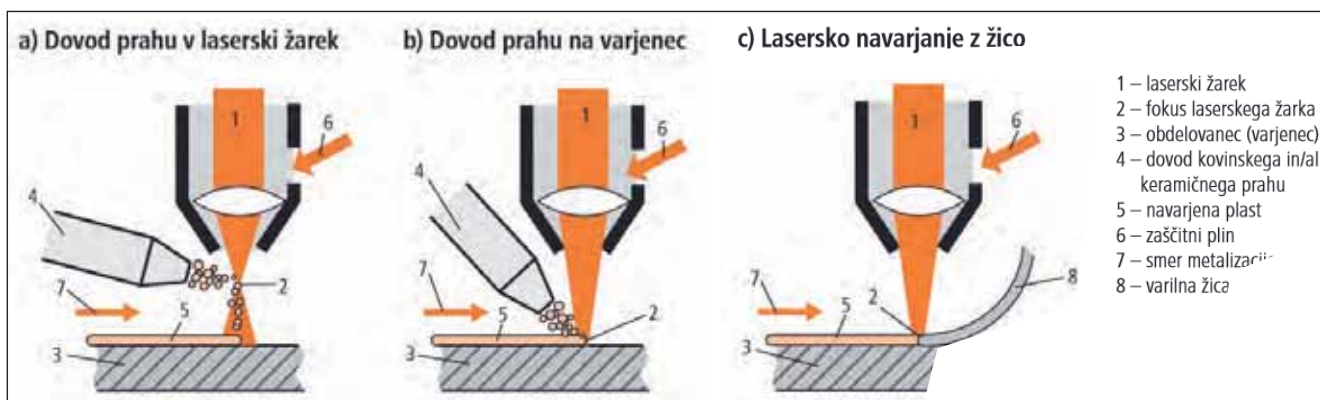
### ■ 3.4.4 Dodatni materiali za obločne postopke

Za električno obločno varjenje uporabljamo oplaščene elektrode premerov od 1,6 mm do 6 mm. Za varjenje po postopku TIG uporabljamo metrske varilne masivne ali strženske palice premerov od 1 mm do 4 mm. Pri navarjanju MIG/MAG ter pri varjenju EPP (Elektro Pod Praškom) uporabljamo masivne in strženske žice, navite na kolut, premera od 0,8 mm do 1,6 mm. Za navarjanje pod praškom uporabljamo masivne in strženske trakove, navite na kolut, širine od 25 mm do 120 mm in debeline od 0,5 mm do 1,5 mm. V literaturi lahko najdemo članke o navarjanju MAG s ploščatimi žicami širine okoli 4 mm in debeline 0,5 mm. V praksi se uporaba tega dodatnega materiala za navarjanje ni splošno uveljavila.

Na *sliki 2* je prikazana naprava za obločno nabrizgavanje z dvema žicama. Sestavljena je iz vira toka, dveh pogonskih sistemov in dveh kontaktnih šob za dve žici ter sistema za dovod plina za prenos taline do obdelovanca. Obe žici sta avtomatsko gnani s konstantno hitrostjo in nameščeni tako, kot kaže slika, da med njima gori oblok. Če je električni tok izmenični, se obe žici



Slika 2. Obločno nabrizgavanje z dvema žicama [1].



Slika 3. Trije različni načini laserskega navarjanja in nabrizgavanja [1].

odtalujeta enako hitro, pri uporabi enosmernege toka pa je odtaljevanje žice, priključene na negativno polariteto, hitrejše od tiste, ki je priključena na pozitivno polariteto vira toka. Talina, ki nastane v obloku iz obeh žic, je nato s plinskim curkom usmerjena proti površini obdelovanca, ki ga navarjamo. Kot plin za prenos taline in za njeno zaščito pred atmosfero uporabimo dušik ali argon. Vrsto plina izbiramo glede na vrsto materiala, ki ga talimo. Za vsa legirana jekla in vse neželezne kovine ter njihove zlitine moramo uporabiti argon, ki je nevtralni plin in ne reagira s talino [12–15].

### ■ 3.4.2 Dodajni materiali za plazemsko postopke

Plazma je ioniziran plin. Zanj sta značilna visoka temperatura in velika hitrost delcev. Poznamo plazemsko navarjanje in plazemsko nabrizgavanje. Glede na vrsto plazme oziroma plazemskega gorilnika poznamo plazmo s prenesenim oblokom in plazmo z neprenesenim oblokom. Plazmo s prenesenim oblokom (angl. *PTA – Plasma Transfer Arc*) uporabljamo predvsem za navarjanje. Najbolj se je uveljavilo plazemsko navarjanje s prahom. Plazmo z neprenesenim oblokom pa uporabljamo predvsem za nabrizgavanje. Tudi v tem primeru najpogosteje uporabljamo prah ali zelo tanko žico [17, 20].

### ■ 3.4.3 Dodajni materiali za laserske postopke

Pri laserskem navarjanju in nabrizgavanju uporabljamo žice premera

med 0,1 mm in 0,7 mm in prahove. Žice so lahko ravne palice, ki jih uporabljamo za ročno navarjanje ali so navite na kolutu. Namenjene so za avtomatsko navarjanje in nabrizgavanje. Poznamo več različnih načinov laserskega navarjanja. Na sliki 3 so prikazani trije. Pri dveh navarjamo s prahom, pri enem z žico.

### ■ 3.4.4 Dodajni materiali za plamensko navarjanje in nabrizgavanje

Plamenska tehnika se uporablja vedno manj. Zdaj jo srečamo le še za nabrizgavanje ležajnih zlitin za izdelavo drsnih ležajev. Dodajni materiali so v obliki žic ali prahov.

### ■ 3.4.5 Eksplozijsko navarjanje

Pri eksplozijskem navarjanju, ki ga imenujemo tudi platiranje, se kot dodajni material uporablja tanka pločevina ali tankostenska cev. Ravno pločevino navarimo s silo eksploziva na ravno drugo ploščo. Eksplozijsko navarjanje cevi najpogosteje uporabljamo za montažo cevi v cevno steno. Za platiranje z eksplozivom uporabljamo številne neželezne kovine in njihove zlitine. Največkrat platiramo aluminij, baker, titan in nerjavno jeklo na osnovo iz konstrukcijskega jekla. Za platiranje lahko uporabljamo tudi varjenje z valjanjem, varjenje z elektromagnetno silo in v posameznih primerih celo navarjanje s trenjem. V tem, slednjem primeru, uporabimo čep iz mehke kovine, ki se giblje po površini elementa z višjo trdoto. Zardi trenja se čep ogreje in navari na površino.

## ■ 3.5 Metalizacija

Metalizacije je zelo širok pojem izdelovalnih tehnologij. K metalizaciji poleg nabrizgavanja in navarjanja uvrščamo še celo paleto drugih postopkov, pri katerih na strojni element nanesemo drugo kovino ali kovinsko keramiko. Za dodatne metalizacije uporabljamo zelo široko paleto dodatnih materialov v različnih oblikah in celo v različnih agregatnih stanjih. Obravnav vseh teh materialov in postopkov presega obseg tega članka [7–9, 16–20].

## ■ 4 Zaključek

Pri navarjanju in nabrizgavanju je za doseganje želenih rezultatov potrebno dobro poznavanje dodatnih materialov in postopkov. Navarjamo in nabrizgavamo predvsem zato, da osnovnemu materialu izboljšamo posamezne lastnosti, a ne smemo pozabiti, da lahko pri tem osnovnemu materialu poslabšamo določeno lastnost, npr. žilavost, trdoto ali trdnost. Pred navarjanjem je zato treba dobro preučiti varivost in kemično sestavo osnovnega materiala. Na podlagi tega ter na podlagi želenih lastnosti navara moramo nato izbrati primeren dodajni material ter tehnologijo varjenja (toplotne obdelave pred varjenjem in po varjenju). Katalogi ter literatura proizvajalcev nam pri tem lahko veliko pomaga.

### Literatura

- [1] J. Tušek: Varjenje in sorodne tehnike spajanja materialov v neločljivo zvezo. Univerza v

- Ljubljani, Fakulteta za strojništvo, Ljubljana, 2014.
- [2] <https://www.ampcometal.com/>. Dodajni materiali za navarjanje. Ogled 1. 9. 2017.
- [3] N. N.: UTP: Weldingconsumables, Katalog dodajnih materialov UTP, Nemčija, 2006.
- [4] N. N.: BöhlerUddeholm: Böhler-Uddeholm M2, High-speedtoolsteel, Katalog jekel, 2013.
- [5] N. N.: CastolinEutectic: Produkt und Anwendungsinformationen. Stand 09/15Kriftel, Nemčija, 2015.
- [6] N. N.: Dodajni materiali za varjenje. Elektrode Jesenice d. o. o., Jesenice, 2017.
- [7] L. Pawlowski: The science and engineering of thermal spray coatings (2. izdaja). John Wiley&Sons Ltd, TheAtrium-Southern Gate, Chichester, West Sussex PO19 8SQ, Anglija, 2008.
- [8] W. E. Ballard: Metal Spraying and the Flame Deposition of CeramicsandPlastics (4., prenovljena izdaja). Griffin, London, 1963.
- [9] A. Bhatia: Thermal Spraying Technology and Applications. Continuing Education and Development, Inc., 9 Greyridge Farm Court, Stony Point, NY 10980, ZDA, 1999.
- [10] S. Teknigi, A. S. Ticaret: Askaynak products. Kaynak Teknigi Sanayive Ticaret A.S., Cayirova, 2012.
- [11] <http://www.gedikwelding.com/catalogues>. Dodajni materiali za navarjanje in nabrizgavanje. Ogled 15. 8. 2017.
- [12] The Lincoln Electric Company: Welding Consumables 2016 Catalog.: 22801 St. Clair Avenue, Cleveland, ZDA, 2016.
- [13] G. Gallazzi, S. Rigdal, M. Kubenka: Practical applications of ESAB strip cladding technology. Svetsaren 62 (2007), 1, 17–22.
- [14] R. Paschold: Electroslag strip cladding for corrosion resistance. Svetsaren 56 (2001), 2–3, 62–67.
- [15] C. Monroe: Hardfacing; Tip-sand Techniques. Welding Journal 85 (julij 2006), 7, 24–26.
- [16] D. Sun, W. Wang, Z. Xuan, Y. Xu, Z. Zhou: Effects of Alloying Elements on Microstructure and Erosion Resistance of Fe-C-Cr Weld Surfacing Layer. Journal of Materials Science & Technology 19 (2003), 4, 351–354.
- [17] K. Kirner: Mit Wolframplasma-beschichtete Hochstromfunkenstrecken. Der Praktiker 41 (1989), 7, 344–347.
- [18] W. Wahl: Exploring Trends in Hardfacing. Welding Journal 85 (julij 2006), 7, 35–37.
- [19] Q. Wang, X. Li: Effects of Nb, V, and W on Microstructure and Abrasion Resistance of Fe-Cr-C Hardfacing Alloys. Welding Journal 89 (julij 2010), 7, 133s–139s.
- [20] R. J. Damani, D. Rubeša, R. Danzer: Fracture toughness, strength and thermal shock-bahviour of bulk plasma sprayed alumina – effects of heat treatment. Journal of the European Ceramic Society 20 (september 2000), 10, 1439–1452.

### Addition Materials for Surfacing and Spraying

**Abstract:** The article provides an overview of the addition materials for surfacing and spraying. These are two rather similar but still different manufacturing technologies. By means of suitable additive materials, with these processes, we can restore the worn-out hardware elements, or on their new, usually, critical ones; this is in the most burdened places, improving the surface of the base material. This mechanical elements improves the operating properties and prolongs their useful life. This is a very effective way of improving the efficiency of individual machine operations and the entire manufacturing output from an economic and technological point of view. The addition materials are divided according to the chemical composition, the intended use, the external shape and the manufacturing process used. There are several different processes of surfacing and spraying The choice of the feed material and the choice of the method of the processes under consideration depend on the type of basic material, the required characteristics of the surfacing, the purpose of surfacing or spraying, and a number of other factors.

**Keywords:** addition material, surfacing, spraying, metalization, arcs processes, lasers processes, plasmas processes, flames prosses