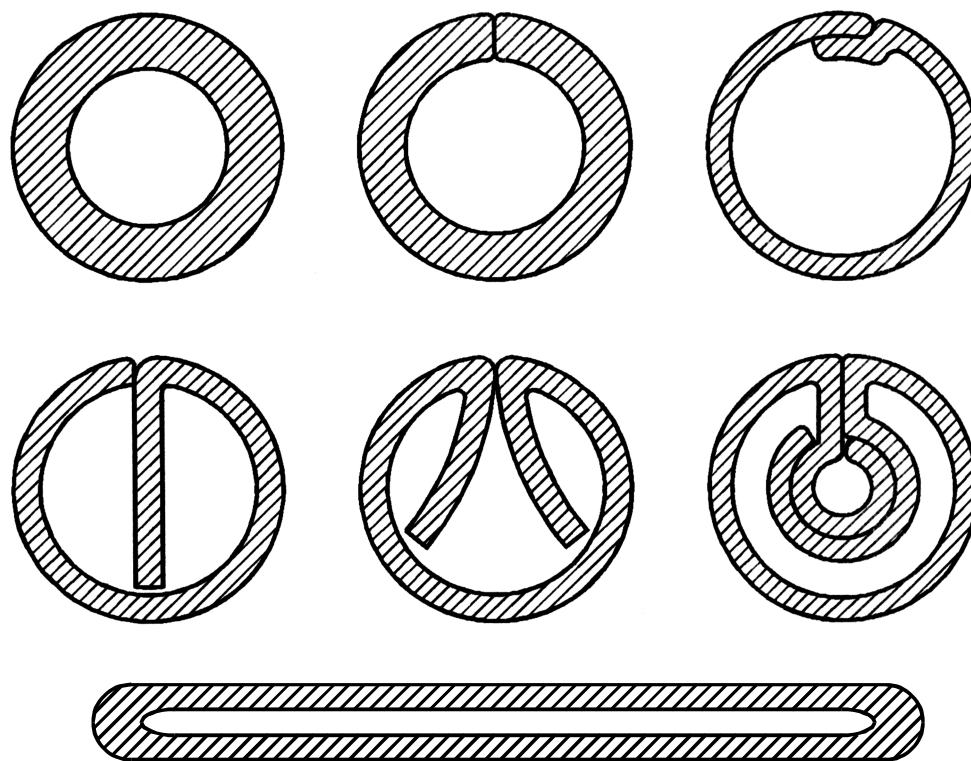


2.1 OPĆENITO O PRAŠKOM PUNJENIM ŽICAMA

Punjena žica za MAG zavarivanje izrađena je posebnom tehnologijom u obliku cjevčice punjene mineralnim ili metalnim praškom. Postoje dvije tehnologije izrade o kojima ovisi i oblik presjeka. Po obliku presjeka žice se razlikuju kao što je prikazano na slici 2.1.



Slika 2.1 Presjeci praškom punjenih žica

Općenito se svrstavaju u dvije osnovne skupine, a to su: praškom punjene žice u obliku zatvorene cjevčice i praškom punjene žice u obliku profiliranjem formirane cjevčice koja nije potpuno zatvorena. Pored toga što postoje praškom punjene žice čiji presjek tvori pravilnu kružnicu, one mogu biti i u obliku traka koje prvenstveno služe za navarivanje.

Ovisno o tehnologiji, žice se izrađuju iz čeličnih traka ili bešavnih cijevi, te se u procesu proizvodnje, nakon punjenja, valjanjem i provlačenjem dovode na konačan promjer.

Nakon provlačenja, u svrhu smanjenja čvrstoće i žilavosti, provodi se toplinska obrada, najčešće žarenje, jer je nakon hladnog vučenja žica očvrsla. Prije namatanja na kolut standardnog promjera, žica se najčešće prevlači bakrom u svrhu dolegiranja materijala zavora u procesu zavarivanja i sprječavanja pojave korozije na površini žice. Pored pobakrenih praškom punjenih žica, primjenjuju se i praškom punjene žice koje nisu pobakrene, čija površina je nakon provlačenja sjajna (sive boje).

Kemijski sastav metala od kojeg se izrađuje košuljica punjene žice uglavnom je isti kao u materijala za čije zavarivanje je žica namijenjena. Prašak u žici (jezgra) je mineralnog, rutilnog ili bazičnog tipa, a može biti i metalnog.

Mineralni prašak u procesu zavarivanja ima istu funkciju kao i obloga elektrode kod REL postupka zavarivanja, a osim toga, poboljšava mogućnost zavarivanja u svim položajima, osigurava mogućnost većeg opterećenja strujama zavarivanja i mikrolegiranjem poboljšava svojstva metala zavara.

Metalni prašak nema takva svojstva, ali njegov kemijski sastav poboljšava zavarivačka svojstva. Stupanj punjenja kod praškom punjenih žica predstavlja omjer mase jezgre (punjenja) i ukupne mase praškom punjene žice, prvenstveno ovisi o načinu izrade, ali i o obliku presjeka žice i u većini slučajeva se kreće od 14 % do 20 %, a ponekad i preko 25%. Stupanj punjenja bitno utječe na produktivnost, a time i na cijenu praškom punjene žice. Izračunava se prema izrazu:

$$K_p = \left(\frac{m_p}{m_z} = \frac{m_p}{m_p + m_t} \right) \cdot 100, (\%)$$

gdje je:

m_p - masa punjenja

m_t - masa obloge (plašta)

Praškom punjene žice izrađuju se najčešće u promjerima od 0.8 mm, 1.0 mm, 1.2 mm, 1.4 mm, 1.6 mm, 2.0 mm, 2.4 mm i 3.2 mm, rjeđe 4 i 5 mm. Žica je namotana na standardne kolutove mase 15 kg. Praškom punjene žice se primjenjuju za zavarivanje limova od 1.5 do 200 mm. Limove debljine od 1.5 do 13 mm moguće je zavarivati u jednom prolazu, bez prethodnog pripremanja žlijeba za zavarivanje.

S gledišta kvalitete, prednost imaju punjene žice u obliku potpuno zatvorene cjevčice. Iz takvih žica punjenje ne može izlaziti van i potpuno je zaštićeno od utjecaja vlage bez obzira na uvjete skladištenja, pa nema potrebe za naknadnim sušenjem prije zavarivanja. U tablici 1.1 prikazan je sadržaj vodika u zavarenom spoju u ovisnosti o primijenjenoj praškom punjenoj žici i uvjetima skladištenja. Treba napomenuti da su ovakve žice za oko 30 % skuplje od otvorenih žica oblikovanih profiliranjem, koje u potpunosti zadovoljavaju zahtjeve kvalitete kod zavarivanja nelegiranih i konstrukcijskih čelika.

Praškom punjena žica	Mjerenje sadržaja vlage u zavaru izvršeno nakon zavarivanja žicama:	
	Suha žica iz skladišta (ml/100 g zavara)	Žica izložena atmosferi sadržaja vlage 80 % (ml/100 g zavara)
Metalnim praškom punjena žica	1.8	3.6
Rutilnim praškom punjena žica koja nije zatvorena	5.5	9.0
Potpuno zatvorena rutilnim praškom punjena žica	4.5	4.5
Bazičnim praškom punjena žica koja nije zatvorena	2.1	5.0
Potpuno zatvorena bazičnim praškom punjena žica	1.1	1.1

Tablica 2.1 *Sadržaj vodika u zavaru izvedenom praškom punjenom žicom*

2.1.1 Opća podjela praškom punjenih žica

Punjene se žice mogu dijeliti po različitim kriterijima. Na tržištu je moguće naći cijeli niz različitih žica koje izrađuju razni proizvođači. Postoji više sustava podjele praškom punjenih žica koje su izradile zavarivačke udruge različitih država. Ovdje je navedena jedna od mogućih podjela praškom punjenih žica.

Praškom punjene žice moguće je podijeliti prema:

a) Načinu izrade:

- žice izrađene u obliku potpuno zatvorene cjevčice,
- žice izrađene u obliku profilirane cjevčice koja nije potpuno zatvorena.

b) Vanjskoj zaštiti u procesu zavarivanja:

- punjene žice kod kojih se koristi dodatna vanjska zaštita,
- samozaštitne punjene žice.

c) Sastavu punjenja:

- punjenje sastavljeno isključivo ili pretežito od mineralnih tvari,
 - rutilnim praškom punjene žice
 - bazičnim praškom punjene žice
 - punjenje sastavljeno isključivo ili pretežito od metalnog praška.

d) Namjeni:

- za zavarivanje niskolegiranih čelika,
- za zavarivanje čelika postojanih pri radu na povišenim temperaturama,
- za zavarivanje čelika postojanih pri radu na nižim temperaturama,
- za zavarivanje nehrđajućih čelika,
- za zavarivanje aluminija (Al) i legura aluminija,
- za zavarivanje bakra (Cu) i legura bakra,
- za zavarivanje visokolegiranih nehrđajućih čelika,
- za zavarivanje sivog lijeva.

e) Položaju zavarivanja:

- za zavarivanje sučeonih i kutnih spojeva u vodoravnom položaju,
- za zavarivanje u svim drugim položajima.

f) Obliku:

- žice od 0.8 do 4.5 mm,
- punjene trake za navarivanje.

g) Vanjskom izgledu:

- s pobakrenom površinom,
- s tamnom (oksidiranom) ili svijetlom površinom.

2.1.2 Podjela prema vrsti punjenja

Svi pristupi podjeli praškom punjenih žica se svode na tri osnovna tipa, a to su:

a) Žice punjene rutilnim mineralnim praškom

Komponente jezgre žice punjene rutilnim mineralnim praškom koje tvore trosku sastavljene su od rutila, aluminosilikata, kalcijevog oksida, fluorida i potrebnih dezoksidanata (najčešće se koriste FeMn, Al, TiO₂).

Jezgra rutilnih punjenih žica sadrži više od 50 % rutila (TiO₂), koji je vrlo dobar ionizator i stabilizator električnog luka. Kod rutilnih punjenih žica koje se primjenjuju za zavarivanje u vodoravnom položaju, sadržaj TiO₂ doseže i do 65 %. Mehanička svojstva zavarenih spojeva izvedenih žicom punjenom rutilnim mineralnim praškom vrlo su dobra. Ugljik-manganovi čelici zavarivani takvom žicom imaju zadovoljavajuću žilavost i pri temperaturi od –20 °C.

Kod zavarivanja legiranih čelika nužno je uporabiti žicu punjenu rutilnim mineralnim praškom legiranu sa 2,5 % nikla (Ni), da bi zavar imao zadovoljavajuću žilavost i pri temperaturi od –50 °C.

Osnovne karakteristike pri zavarivanju žicama punjenim rutilnim mineralnim praškom su:

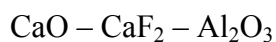
- vrlo lako namještanje parametara zavarivanja,
- brzo skrućivanje troske koja se lako skida, te je pogodna za zavarivanje u prinudnom položaju,
- prijenos metala štrcajućim lukom uz vrlo malo prskanje,
- zavar ima lijepu i glatku površinu,
- stabilan i miran električni luk,
- kvalitetno provarivanje korijena zavara bez primjene podloge.

Najčešće korištene žice punjene rutilnim mineralnim praškom su promjera od 1,2 do 2,4 mm i njihovom uporabom se postiže učinak od 10 do 12 kg/h.

Zaštitni plin koji se koristi pri zavarivanju žicama punjenim rutilnim mineralnim praškom je najčešće ugljični dioksid (CO_2) ili mješavina ugljičnog dioksida (CO_2) i argona (Ar), najčešće u omjeru 95 % Ar i 5 % CO_2 .

b) Žice punjene bazičnim mineralnim praškom

Komponente jezgre žice punjene bazičnim mineralnim praškom su najčešće TiO_2 , CaO , CaF_2 . Troska koja nastaje zavarivanjem žicama punjenim bazičnim mineralnim praškom je iz sustava:



Pri zavarivanju žicama punjenim bazičnim mineralnim praškom se postiže bolja kvaliteta zavarenog spoja nego pri zavarivanju žicama punjenim rutilnim mineralnim praškom. Najveći doprinos kvaliteti daje bazična troska koja nastaje u procesu zavarivanja i iz rastaljenog materijala odstranjuje nečistoće i komponente koje tvore dostatnu količinu plinova koji štite kupku zavara od utjecaja atmosfere, te na taj način sprječavaju nastanak poroznosti.

Osnovne karakteristike pri zavarivanju žicama punjenim bazičnim mineralnim praškom su:

- potreba za točnim namještanjem parametara zavarivanja (usko područje odabira),
- vrlo dobra mehanička svojstva zavara,
- mala vjerojatnost pojave pukotina i poroznosti,
- primjenjivost pri zavarivanju tanjih materijala,

- stabilan električni luk u procesu zavarivanja,
- prijenos metala u obliku krupnih kapljica.

Metal se u električnom luku pri zavarivanju žicama punjenim bazičnim mineralnim praškom prenosi krupnim kapljicama, što uzrokuje rasprskavanje metala koje je veće nego kod zavarivanja žicama punjenim rutilnim mineralnim praškom. Rasprskavanje materijala najveće je kod zavarivanja uz zaštitu ugljičnog dioksida (CO₂), ali je znatno manje uz zaštitu mješavine argona (Ar) i ugljičnog dioksida (CO₂), najčešće u omjeru 82 % Ar i 12 % CO₂.

Punjene žice koje ne trebaju dodatnu vanjsku zaštitu

Posebno poglavlje u obitelji praškom punjenih žica predstavljaju žice koje ne trebaju dodatnu vanjsku zaštitu u procesu zavarivanja. Većina samozaštitnih punjenih žica ima jezgru bazičnog tipa, što znači da su glavni sastojci kalcijev karbonat i fluorid. Tehnologija izrade i sastav jezgre samozaštitnih punjenih žica posebno su složen problem koji dobro poznaju samo pojedini proizvođači. Jezgra samozaštitnih punjenih žica mora vršiti slijedeće funkcije:

- ionizacija i stabilizacija električnog luka,
- zaštitu rastaljenih metalnih kapi i kupke zavara od utjecaja atmosfere,
- stvaranje troske za dezoksidaciju i zaštitu rastaljenih kapi metala,
- legiranje kupke u procesu zavarivanja, kao i obloga elektrode kod REL postupka zavarivanja i dr.

Jezgra samozaštitnih praškom punjenih žica sadrži mineralne komponente (TiO₂, CaO, CaF₂, itd.) i neke elementarne tvari (Al, Li, itd.). Najvažnija komponenta koja proizvodi plin i trosku je kalcijev karbonat (CaCO₃), koji se tijekom zavarivanja raspada prema slijedećoj jednadžbi:



Nastali plin, ugljični dioksid (CO₂), štiti električni luk i rastaljeni metal zavara od nepovoljnog utjecaja atmosfere. Troska (CaO) veže nečistoće iz rastaljenog metala zavara, što vrlo povoljno utječe na mehanička svojstva zavara.

Koeficijent iskorištenja samozaštitnih punjenih žica niži je nego kod svih drugih punjenih žica i kreće se u granicama od 75 % do 85 %, a izračunava se prema sljedećem izrazu:

$$\eta_z = \frac{m_n}{m_{pz}} \cdot 100, [\%]$$

gdje je:

m_n - masa navara

m_{pz} - masa pretaljene žice

c) Žice punjene metalnim praškom

Pri izradi žica punjenih metalnim praškom moguće je djelovati na njihov kemijski sastav, koji je uglavnom isti kao kod osnovnog materijala za čije se zavarivanje i primjenjuju. Te se žice pretežno upotrebljavaju za zavarivanje visokolegiranih čelika koji na niskim temperaturama imaju visoku čvrstoću i žilavost.

Osnovne karakteristike pri zavarivanju žicama punjenim metalnim praškom su:

- mogućnost ekonomičnog utjecaja na sastav jezgre pomoću udjela komponenata punjenja,
- mala količina troske koju nije potrebno odstranjivati nakon svakog prolaza,
- približno 20 % veći učinak taljenja nego pri zavarivanju ostalim punjenim žicama,
- veća dubina provarivanja zbog veće jakosti struje zavarivanja,
- visok koeficijent iskorištenja (od 85 % do 95 %),
- širok i stabilan električni luk,
- prijenos metala finim kapljicama (štrcajući luk) je moguć i kod nižih struja zavarivanja,
- fino ocrtan i jednakomjeran zavar,
- primjenjivost pri automatskim postupcima zavarivanja i mogućnost zavarivanja u prisilnim položajima,
- dobro premošćivanje razmaka u grlu (zazoru) žlijeba.

2.1.3 Standardizacija praškom punjenih žica

Punjene žice standardizirane su nacionalnim i međunarodnim normama koje odgovarajućim oznakama pokazuju njihova svojstva. Oznake punjenih žica prema tim standardima prikazane su u katalozima proizvođača. Klasifikacija oznaka je brojčano-slovna, a sastoji se od slijedećih simbola:

TXX (1) X (2) XX (3) X (4) X (5) X(6) XX (7), gdje je:

T- oznaka za žicu u obliku cijevi

(1)- oznaka za mehanička svojstva zavara

(2)- oznaka za žilavost

(3)- oznaka za kemijski sastav zavara

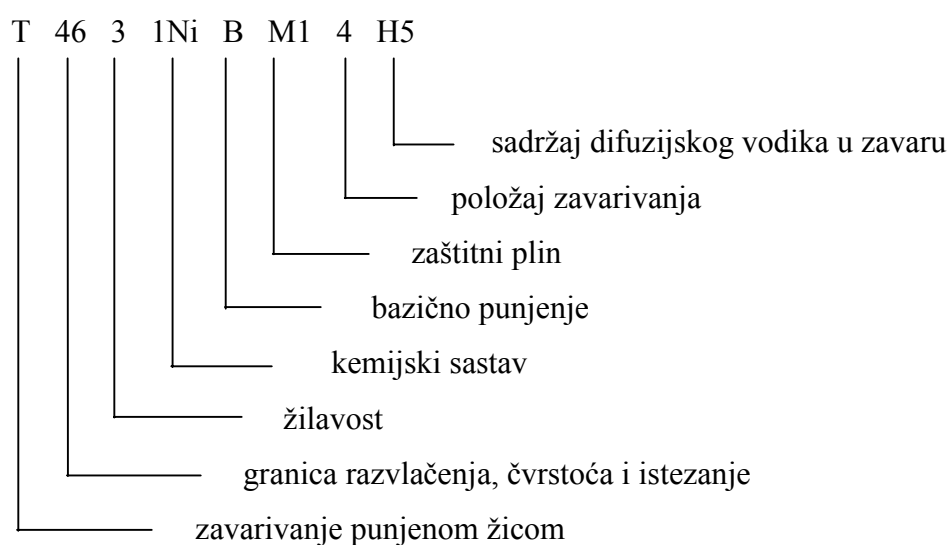
(4)- oznaka za svojstva punjene žice

(5)- oznaka za zaštitni plin

(6)- oznaka položaja zavarivanja

(7)- oznaka za sadržaj difuzijskog vodika

Primjer oznake punjene žice:



Oznaka	$R_e, \text{N/mm}^2$	$R_m, \text{N/mm}^2$	$A_5, \%$
35	355	440-570	22
38	380	470-600	20
42	420	500-640	20
46	460	530-680	20
50	500	560-720	18

Tablica 2.2 Mehanička svojstva zavara

Oznaka	Udarna radnja loma min, 47 J °C
Z	BEZ ZAHTJEVA
A	+20 °C
0	0
2	-20
3	-30
4	-40
5	-50
6	-60

Tablica 2.3 *Žilavost zavara*

Oznaka tipa legiranja	Kemijski sastav, %		
	Mn	Mo	Ni
bez oznake	2.0	-	-
Mo	1.4	0.3-0.6	-
MnMo	1.4-2.0	0.3-0.6	-
1Ni	1.4	-	0.6-1.2
2Ni	1.4	-	1.6-2.6
3Ni	1.4	-	2.6-3.8
Mn1Ni	1.4-2.0	-	0.6-1.2
1NiMo	1.4	0.3-0.6	0.6-1.2
Mogući su: Mo<0.2%, Ni<0.5%, Cr<0.5%, V<0.8%, Nb<0.05%, Cu<0.3%, Al<0.2% (žica bez zaštitnog plina)			

Tablica 2.4 *Kemijski sastav zavara*

Oznaka	Svojstvo troske	Slojnost S-1 sloj, M-2 sloj	Zaštitni plin C - CO ₂ M-mješavina
R	rutilno-bazična	S i M	C i M
P	rutilno-bazična	S i M	C i M
B	Bazična	S i M	C i M
M	metalni prašak	S i M	C i M
V	rutil ili bazični fluorid	S	bez
W	bazični fluorid	S i M	bez
Y	bazični fluorid	S i M	Bez
S	Ostali tipovi	-	-

Tablica 2.5 Svojstva praškom punjenih žica

Oznaka		Udio pojedinog plina, %			
Grupa	Broj	CO ₂	O ₂	Ar	H ₂
M1	1	0-5	-	ostalo	0-5
	2	0-5	-	ostalo	-
	3	-	0-3	ostalo	-
	4	0-5	0-3	ostalo	-
M2	1	0-5	-	ostalo	-
	2	-	3-10	ostalo	-
	3	0-5	0-8	ostalo	-
M3	1	25-50	-	ostalo	-
	2	-	10-15	ostalo	-
	3	5-50	8-15	ostalo	-
C	1	100	-	-	-
	2	ostalo	0-30	-	-

Tablica 2.6 Vrste zaštitnih plinova

Oznaka	Položaj zavarivanja
1	svi položaji
2	svi položaji osim odozgo prema dolje
3	sučeon i kutni spoj, položaj u korito, horizontalni i vertikalni
4	sučeon i kutni spoj, položaj u korito
5	Kao pod 3, preporuka za položaj odozgo prema dolje

Tablica 2.7 *Položaji zavarivanja*

Oznaka	Sadržaj vodika, cm ³ /100 g
H5	5
H10	10
H15	15

Tablica 2.8 *Sadržaj difuzijskog vodika u zavaru*